

Köszönet

MAGYAR

Geofizika



A MAGYAR GEOFIZIKUSOK EGYESÜLETE FOLYÓIRATA
BUDAPEST, 1965. VI. ÉVFOLYAM 1. SZÁM

Szerkesztőség

Magyar Geofizikusok Egyesülete,
Budapest V., Szabadság tér 17.
Telefon: 118-476

Felelős szerkesztő

Dr. SEBESTYÉN KÁROLY

Szerkesztő bizottság

BENCZE PÁL
CZEGLÉDI ISTVÁN
Dr. RENNER JÁNOS

Felelős kiadó

SOLT SÁNDOR

TARTALOMJEGYZÉK

<i>Czeplédi István — Markó László — Dr. Sebestyén Károly:</i> A hazai mélyfúrás geofizika fejlődésének célszerű irányairól	1
<i>Hartner Mihály — Dr. Steiner Ferenc:</i> Az 1964. évi, Tiszakécske—Lakitelek között végzett geotermikus mérések	29
Egyesületi hírek	36
A magyar geofizika története I.	37

Közljük, hogy lapunk legközelebb 2—3 számként összevontan jelenik meg

Index 26.507

MAGYAR GEOFIZIKA

Felelős szerkesztő: Dr. Sebestyén Károly

Kiadja a Műszaki Könyvkiadó, Budapest V., Bajcsy Zsilinszky út 22. Telefon: 113-450.

Felelős kiadó: Solt Sándor

Ez a folyóirat az MSZ szerint 750 példányban készült

Terjeszti: MAGYAR GEOFIZIKUSOK EGYESÜLETE

Megrendelhető egész évre 16,— Ft előfizetési áron, mely összeg a MTESZ 171.249—70. sz. csekkszámlájára fizetendő be.

65.4138. Állami Nyomda, Budapest

A hazai mélyfúrási geofizika fejlődésének célszerű irányairól

CZEGLÉDI ISTVÁN - MARKÓ LÁSZLÓ - Dr. SEBESTYÉN KÁROLY

Szerzők összefoglalják a hazánkban jelenleg alkalmazott mélyfúrási geofizikai módszereket és műszereket. Megállapítják, hogy a jelenleg alkalmazott eljárások megfelelő kiegészítésre szorulnak. Az elektromos paraméterek mérésében a fókuszált rendszerűek széleskörű bevezetése és az indukciós mérési eljárás kidolgozása jelenti a fejlődés útját. A radiológiai mérések fejlesztésének az energiamérésre és a magasabb hőmérsékletekre kell irányulnia. Ennek nemcsak eszköz feltételeit kell megteremteni, hanem a módszertaniakat is. A fúróluk állapotát vizsgáló és a rétegmegnyitás eszközeit is fejleszteni kell, részben a működési hőmérséklet, részben az adatszolgáltatás gyorsaságát és precizitását illetően.

В статье дается сводный обзор о методах и установках промышленной геофизики, применяемых в настоящее время в Венгрии. Установлено, что применяемые ныне методы требуют соответствующего дополнения. В измерении электрических параметров широкое внедрение методов фокусированной системы и разработка индукционного метода представляют собой путь развития. Радиологические методы должны развиваться по пути измерения энергии и повышения рабочей температуры. Для этого необходимо создать не только аппаратные, а также методические предпосылки. Необходимо также развить средства для изучения состояния скважины и вскрытия пластов в отношении рабочей температуры, с одной стороны, и ускорения получения данных и повышения их точности, с другой.

Die Verfasser geben eine Zusammenfassung über die Methoden und Geräte für geophysikalische Bohrlochmessungen, die zur Zeit in Ungarn verwendet werden. Es wird festgestellt, von elektrischen Parametern wird der Weg der Entwicklung durch den weitverbreiteten Einsatz der Methoden des fokussierten Systems und die Ausarbeitung des Induktionsverfahrens dargestellt. Die Entwicklung der radiologischen Methoden soll sich auf die Messung von Energie und auf die Erhöhung der Arbeitstemperaturen richten. Dafür müssen nicht nur die technischen, sondern auch die methodischen Vorbedingungen geschaffen werden. Die Geräte für die Bestimmung des Zustandes der Bohrlöcher und für die Schichtöffnung müssen auch in Hinsicht sowohl auf Arbeitstemperaturen als auch auf die Beschleunigung der Angabenerlieferung und die Erhöhung der Präzision gefördert werden.

A mélyfúrási geofizikai kutatások alapvetően két nagy területet foglalnak magukban.

A makroszkópos közettulajdonságokat vizsgálják a fajlagos ellenállás-mérések különböző rendszerei, a PS mérés, a gerjesztett potenciál, az akusztikus sebesség, mágneses permeabilitás stb. mérésére alapított eljárások.

A mérések másik nagy csoportja a kőzeteket alkotó elemekhez, illetve azok atomjainak tulajdonságaihoz kapcsolódik. Az ide tartozó vizsgálati módszerek zöme a természetes és gerjesztett radioaktív sugárzásoknak a fúróluk környezetében való eloszlását méri.

Kisebb ágazatát a molekuláris mágneses momentum mérésére vonatkozó eljárások képezik.

A megoldandó problémák zöme a kőolajkutatáshoz, kisebb része a víz, a kőszén és egyéb ásványok kutatásához kapcsolódik.

A *kőolajkutatási fúrólyukszelvényezés* gyakorlatában az alábbi feladatok merülnek fel:

- a rétegsor megállapítása;
- a porózus, permeábilis szakaszok kijelölése;
- a porozitás nagyságának meghatározása;
- a víztelítettség (azaz szénhidrogén tartalom) meghatározása;
- a réteg agyagosságának és a
- a permeabilitás mértékének megállapítása.

Vannak ezeken kívül a kút műszaki állapotával összefüggő karottázs problémák is.

A porozitás nagyságát jelen eszközeinkkel vagy a réteg hidrogén tartalmának a neutron szelvény alapján való megméréssel, vagy a formációtényezőnek az ellenállás szelvények alapján való meghatározásából az

$$F = \frac{0,62}{\varphi^{2,15}}$$

összefüggés segítségével kapjuk meg. A formációfaktor meghatározásán alapuló módszert használjuk általánosabban, egyrészt mivel ellenállásmérést mindenhol végzünk, másrészt mivel ennek a módszernek az alkalmazhatósági területe szélesebb.

Ezt a módszert olyan területen alkalmazhatjuk, ahol a mélybehatolású szondák a valódi ellenállás pontos értékét adják, vagyis a rétegek nincsenek mélyen fúróiszappal elárasztva, és a PS a rétegvíz ellenállás jó közelítő értékét adja. A F ismeretében a porozitás az előző képletből határozható meg.

A másik szintén majdnem általánosan alkalmazott módszer a kiöblített zóna ellenállásának (Rx_0) mikrolog alapján történő meghatározásán alapszik. A formációfaktort a kiöblített zóna ellenállásának és az iszap filtrátum ellenállásának viszonya adja meg. Minthogy a mikrolog az Rx_0 értékét csak 18–20%-nál nagyobb porozítások mellett és kb. 1/2"-nál kisebb iszaplepeny vastagság mellett adja meg elfogadható pontossággal, ezen módszer alkalmazhatósága általában csak az alsó és felsőpannon lazább kőzeteire korlátozódik. A mikrolog korlátozottosságait az úgynevezett mikrolaterológ, azaz fókuszált mikrolog nagymértékben csökkenti. Ez az eljárás kis porozítások és vastagabb iszaplepenyek esetében is jobb Rx_0 értéket ad, mint a mikrolog. Előnye még, hogy a porózus rétegen belüli ellenállás változásokat jobban tükrözi. Nagy segítséget fog jelenteni ez a műszer azokon a területeken, ahol az iszap ellenállása a réteg ellenállásához képest igen kicsiny. Mint pl. a karbonátokban és ahol az iszap sótartalma magas. Ez a műszer még hazánkban nem áll az ipar rendelkezésére, legalábbis ami az üzemszerű alkalmazást illeti. Az OKGT laboratóriuma kialakított egy ilyen szondát, amellyel már néhány kísérleti mérést végeztünk. Ha Rx_0 és R_0 ugyanarra a rétegre meghatározható, a következő ellenőrzést végezhetjük el:

$$\frac{Rx_0}{R_0} = \frac{Rmf}{Rw}$$

Ha a fenti egyenlőség fennáll, a két független ellenállásparaméterből kapott F érték az első formula alapján jó porozitás értéket fog adni. Ha a fenti egyenlőség nem áll fenn, a vízanalízisből megállapított pontos Rw érték és a mikrosondával erősen kiöblösödött szakaszon kapott iszapellenállás érték nagy segítséget jelent a fennálló bizonytalanság megszüntetésében.

Az olyan területeken, ahol a kőzetek kis vagy közepes porozitásúak, gyakran a rövid normál görbét használjuk a formációfaktor és ennek alapján a porozitás meghatározására. Ilyen helyen a rövid normál sonda közvetlenül az elárasztott zóna fajlagos ellenállását adja. Ebben a zónában az iszap nem szorította ki teljesen az eredeti rétegvizet, tehát a filtrátum és a rétegvíz keveréke tölti ki a pórusteret. A formációfaktort a következő összefüggés adja:

$$F = \frac{Ri}{Rw} \left[z + \frac{Rw}{Rmf} (1 - z) \right]$$

ahol z — a pórusokból ki nem söpört rétegvíz %, amely a porozitástól függő tényező; annak növekedésével nő. Általában 1/10-nek vesszük. Megjegyezzük, hogy fenti formulában az Rw ismerete nem kritikus.

A fent ismertetett módszerek csak tiszta, tehát agyagmentes homok és homokkövekben alkalmazhatók. Agyagos homokkövek esetén a fenti mérésekkel kapott formációfaktor nem jellemző a kőzet effektív porozitására, mivel a kőzet ellenállását nemcsak a pórusokat kitöltő víz határozza meg, hanem az agyagtartalom is. Ellenállásmódszerekkel az agyagos homok és homokköveknek csak ún. látszólagos formációfaktorát kapjuk meg, amely mindig kisebb a pórustérfogatra jellemző valódi formációfaktornál. Így a belőlük számított porozitás mindig nagyobb a valódi porozitásnál. Az eltérés nagysága a rétegvíz fajlagos ellenállásától és az agyagtartalomtól függ.

Homokrétegeinkben és homokköveinkben alkalmazott szelvényezési metodikánk olyan, hogy az agyagosság kimutatására a PS szelvény áll legáltalánosabban rendelkezésünkre, ezért az agyagos kőzetek valódi formációfaktorát rendszerint az alábbi képletből számíthatjuk ki, a látszólagos formációfaktor ismeretében.

$$F_t = F_a \left(\frac{Rmf}{Rw} \right)^{1-\alpha}$$

A képletben F_a az agyagos kőzet látszólagos formációfaktora, amelyet az előbbiekben ismertetett módszerek egyikével határozunk meg. Az α ún. PS csökkenési tényező, amelyet az agyagos kőzet PS-nek a szinttájón belüli agyagmentes réteg PS-éhez viszonyított értéke ad meg. Megfigyeléseink szerint a formula általában akkor ad jó eredményt, ha az R_0 és az Rx_0 módszerrel kapott látszólagos formációfaktorok nem nagyon térnek el egymástól.

Az F_t , valódi formációfaktorból a porozitás éppúgy számítható, mint tiszta kőzetek esetén.

Karbonátos kőzeteinkben, ahol az elsődleges porozitás rendkívül kicsi és a kőzetek ellenállása az iszapellenállásának többszáz, sőt többezerszeresét is meghaladja, legfeljebb csak a mikrolaterológ jöhet számításba. Ha számításba vesszük azt is, hogy a termelőkéesség szempontjából sokkal jelentősebb és jellemzőbb a karbonátos kőzetek másodlagos porozitása, akkor arra a követ-

keztetésre jutunk, hogy a lehetséges módszerek közül az ellenállás módszer a leggyatrább. Az ilyen kőzetekben a porozitás-meghatározás legjobb módszere a neutronszelvényezés. A másik hiányosság az, hogy a jelenlegi GM csöves szondáink felbontó képessége kicsi, így a neutron görbe nem tudja híven követni a porozitás változásokat. Emiatt meglehetősen nehéz a jó felbontóképességű laterológ szelvényekkel való kombinálása is. Mindenesetre a neutronszelvényt kell használnunk és a porozitás meghatározásában csak egy közelítő módszert alkalmazhatunk, amely bizonyos feltételezéseken alapszik. Feltételezzük, hogy a legnagyobb neutron kitéréssel jelentkező szakaszok porozitása 2–3%, míg a környező márgáké kb. 40%. Figyelembe kell venni a márga mésztartalmát is. Ugyanis a mészmárgák porozitása jóval kisebb lehet. Pl. a nagylengyeli inoceramusos mészmárga H porozitása 25–30%-nak vehető. A legtömöttebb szakasz és a márga, ill. mészmárga szakasznak megfelelő neutron kitéréseket fél logaritmikus papíron a fenti feltételezett porozítások függvényében ábrázolhatjuk. A két pontot összekötő egyenes a jól ismert

$$\varphi = A - B \log N$$

összefüggést adja. Az így kapott diagram segítségével a közbeeső neutron kitéréseknek megfelelő porozításokat közvetlenül kapjuk.

Ezt a közelítő módszert néha homokkövekben is alkalmazzuk, azonban a homokkövekben általában jelenlevő agyag megnehezíti a megbízható adatok nyерését.

Láttuk, hogy mind az ellenállásmérésen, mind a hidrogéntartalom mérésén alapuló módszerek csak bizonyos kedvező feltételek mellett adják meg a kőzetek porozitását. A kapott értékek pontossága attól függ, hogy a számítási módszereknél alkalmazott feltételezések mennyire közelítik meg a valóságot. Az ellenállásmérésen alapuló porozitás meghatározást a már ismertetett tényezőkön kívül az esetleges szénhidrogén tartalom is zavarja. Pl. a maradék olajtelítettséget általában fel szoktuk tételezni. Értéke szénhidrogén rétegekben 5–20% lehet. Pontosabb kiértékeléshez további mérési adatokra van szükség.

A *konzolidált*, tehát közepes és kis porozitású *homokkövekben* és *mészkövekben* a szónikus szelvény adja a legjobb porozitás értéket, mely az alábbi formulával számítható:

$$\varphi = \frac{\Delta t - \Delta t_m}{\Delta t_f - \Delta t_m}$$

ahol Δt a mért terjedési idő, a Δt_m a matrix terjedési sebesség, amely homokkövekben 170–180 sec/m; mészkövekben 40–45 sec/m; dolomitokban 35–85 sec/m; a vízben 580 sec/m, olajban és gázban ennél még nagyobb.

Az utóbbiból úgy tűnik, hogy a szénhidrogének jelenléte ezt a módszert is befolyásolja. A tapasztalatok azonban azt mutatják, hogy konzolidált, tehát kis és közepes porozitású homokkövekben, valamint a mészkövekben az elárasztás olyan hatásosan szorítja ki a rétegekből a szénhidrogéneket, hogy a szónikus szelvényt azok gyakorlatilag nem befolyásolják. A nagy porozitású homokkövekben és konzolidálatlan homokokban azonban a kompaktság hiányát korrigálni kell, ami bizonytalanságot jelent. Az agyagos kőzetekben az agyagnak a folyadékhoz hasonló nagy terjedési ideje miatt a szónikus szelvény a valódinál magasabb porozitást ad. Az ilyen kőzetekben az elárasztás szénhidrogén kisöprő hatása sem tökéletes, úgyhogy a kiöblített

zóna maradék olaj- és gáztartalma is hatással van a mért értékekre. Ezért a nagy porozitású konszolidálatlan és az agyagot tartalmazó kőzetekben a szónikus szelvény helyett az ún. sűrűség szelvényezést előnyös használni.

Sűrűségi-szelvényezésnél a porozitást az alábbi összefüggésből kapjuk:

$$\varphi = \frac{\rho_{sz} - \rho}{\rho_{sz} - \rho_f}$$

ahol: ρ_{sz} – a kőzetszemcse sűrűsége

ρ – a kőzet térfogatsűrűsége

ρ_f – a folyadék sűrűsége

A kőzetszemcsére jó átlagértékek állnak rendelkezésre.

A homokkővek szemcsesűrűsége $2,65 \text{ g/cm}^3$, a mészkőveké $2,71 \text{ g/cm}^3$, a dolomitoké $2,87 \text{ g/cm}^3$. A folyadék sűrűsége 1 vagy ahhoz közel álló érték.

Ha a kőzetben gáz vagy kis fajsúlyú olaj van, a sűrűségi-szelvényező túl magas porozitás értéket adhat.

Minthogy a kőzetekben levő agyagszemcse sűrűsége egyenlő, vagy alig kisebb, mint a homokkőszemcséké, az agyag ezt a műszert nem, vagy csak alig befolyásolja. Mivel a sűrűségi-szelvényező mérési értéke a nagyporozitású kőzetekben a legnagyobb, a mérési hibák ilyen kőzetekben a legkisebbek. Tehát összefoglalva elmondhatjuk, hogy a nagyporozitású és agyagos kifejlődésű kőzetek legjobb porozitásmérője a sűrűségi-szelvényező.

A kőolajkutatás karottázs gyakorlatában megoldandó másik probléma az *agyagtartalom meghatározása*. Minthogy a homokokból és homokkővekből felépülő rétegsorainkban nukleáris szelvényeket rendszeresen nem veszünk fel, az agyagtartalom meghatározására a PS görbét használjuk legáltalánosabban. Közismert tény, hogy agyagos homokokban a PS görbe kisebb kitérést mutat, mint az ugyanolyan rétegvízű agyagmentes homokkővekben. Minél agyagosabb a homokkő, annál kisebb a már említett PS csökkenési tényező, amelyet az agyagos homok PS-ének a szinttájon belüli agyagmentes homok PS-éhez viszonyított értékeként határoztunk meg. Agyagmentes homokkőben az α 1-gyel egyenlő; a tiszta agyagban pedig 0-val. Az α és a kőzetnek a pórustér %-ban kifejezett agyagtartalma között az alábbi összefüggés állapítható meg:

$$P = \frac{\frac{Rmf^{1-\alpha}}{Rw} - 1}{\frac{Rmf}{Rw} - 1}$$

Az Rmf/Rw a tiszta homokban mért PS alapján számítható. Ez a módszer csak ott alkalmazható, ahol a szinttájon belül tiszta homok is van és a kőzetek fajlagos ellenállása nem nagy.

Más helyeken a természetes gamma görbe alkalmazásától jobb eredményt várhatunk.

Feltételezzük, hogy a legkisebb gamma kitérést adó szakasz agyagmentes, míg a legnagyobb gamma aktivitású és a legkisebb neutron kitérésű szakasz 100%-os agyag. Ezt a feltételezést a többi szelvény figyelembevételével körültekintően kell alkalmazni. Ha a fenti feltételezéseket diagrammon ábrázoljuk, olyan egyenest kapunk, amelynek az egyenlete a következő:

$$P_{\text{terf.}\%} = 1 - \frac{\gamma_a - \gamma_{ak}}{\gamma_a - \gamma_k}$$

ahol γ_a — gammaaszelvény kitérés az agyagban

γ_k — gammakitérés a tiszta homokban

γ_{ak} — gammaaszelvény kitérés a vizsgált kőzetben.

A módszer gyengéje az, hogy feltételezi, hogy az agyag sugárzási aktivitása a vizsgált homokban ugyanakkora, mint a tiszta agyagszakaszokon, ami nem bizonyítható és nem mindig reális feltevés.

Az olajipari karottázsnak még egy igen komoly problémával kell megbirkóznia, ez pedig a *szénhidrogéntartalom kimutatása*, ill. a *víztelítettség meghatározása*. A tiszta homokkövekben a szénhidrogéntartalom és az ellenállások között az alábbi összefüggés írható fel:

$$S_{CH} = 1 - \left(\frac{R_o}{R_t} \right)^{\frac{1}{2}}$$

ahol S_{CH} — a szénhidrogén telítettség a póruster % -ban kifejezve, R_o a teljesen vízzel telített réteg ellenállása a szinttájon belül, R_t — a vizsgált szénhidrogénes réteg ellenállása.

A fenti összefüggésből látható, hogy ha egy homokkő pórusterének a felét szénhidrogének, felét pedig víz foglalja el, ellenállása négyszer nagyobb lesz, szénhidrogén mentes állapothoz viszonyítva. Ebből látjuk, hogy tiszta kőzetek esetén a szénhidrogén-tartalom felismerése viszonylag egyszerű az ellenállásszervényeken. A vizes kőzet R_o ellenállását vagy a szinttájon belüli tiszta vizes réteg valódi fajlagos ellenállása, vagy a $R_o = F R_w$ képlet adja meg.

Tehát ha a rétegsor mindegyik tagjának a valódi fajlagos ellenállását meg tudjuk határozni, a szénhidrogénes rétegek felismerése nem jelent problémát, ha a porozitás, amelyből a formációfaktor meghatározható, a vázolt módszerekkel megbecsülhető.

Jelenleg a valódi fajlagos ellenállást általában a szabványos normál és laterál-szondákkal határozzuk meg, ha a rétegek vastagsága 3 m-nél nagyobb. A 15%-nál nagyobb porozitású kőzetek valódi fajlagos ellenállása ezekkel a módszerekkel általában jól megállapítható, feltéve, ha az ágyazó kőzetek fajlagos ellenállása az iszapellenállás 10-szeresénél nem nagyobb és homogén. Természetesen, ha maga a vizsgált réteg nem nagy fajlagos ellenállású. A kisebb porozitású kőzetekben, ahol az elárasztás átmérője a lyukátmérő tízszeresét is meghaladja, a vékony rétegek valódi fajlagos ellenállásának meghatározása igen megnehezül, különösen ha a réteg anizotrop környezetben van. Ilyenkor az elárasztott zóna és a környező rétegek ellenállása a szelvénymért látszólagos ellenállásokat olyan nagymértékben eltorzíthatja, hogy a valódi fajlagos ellenállást még az eltérési görbeseregek segítségével sem tudjuk megkapni.

A környező rétegek és az iszapellenállás hatása a fókuszált áramterű ellenállásmérő szondáknál jelentős mértékben csökkenthető. Ezeknek a jó részletező képességen kívül még az az előnye, hogy ha a valódi fajlagos ellenállás az elárasztott zóna fajlagos ellenállásának harmadrésznél kisebb, korrekció nélkül is jó, valódi ellenállás értéket adnak, feltéve, hogy a réteg csak kis mértékű elárasztást szenvedett. Minthogy vizsgálati mélysége a rövid és

hosszú normálszondáké között van, nagy fajlagos ellenállású iszapokkal fúrt mélyen elárasztott kőzetekben a szonda által mért értéket az elárasztott zóna jobban befolyásolja, mint a réteg valódi ellenállása. Ilyenkor a laterolog mérésből nem tudjuk a valódi fajlagos ellenállás pontos értékét meghatározni. Ha az elárasztás mélysége mérsékelt, vagy kicsi, a laterolog ellenállásból a valódi fajlagos ellenállás a következő összefüggés alapján számítható ki:

$$R_L = G_i R_i + (1 - G_i) R_t$$

G_i az ún. geometriai tényező, amely a szonda elektródátávolságainak és az elárasztás mélységének a függvénye (homogén kőzetben). A laterolognak más szondákkal való kombinálása kiterjeszti alkalmazhatóságát. Jelenleg a 20 cm-es normál- és az 1 m-es laterálszondával való kombinációra vannak görbeseregeink, de ezek csak igen kismérvű elárasztás mellett adják meg a valódi fajlagos ellenállást, főleg akkor, ha ez nagyobb az elárasztott zóna fajlagos ellenállásánál. A most kibocsátásra kerülő laterolog-pseudo laterolog kombinációra leszármaztatott görbeseregektől jobb eredményeket várunk.

Az édesvizes iszappal fúrt kis ellenállású, főleg agyagos kőzeteinkben igen hiányoljuk az indukciós szondát a valódi fajlagos ellenállások meghatározásánál.

Hangsúlyoznunk kell, hogy a valódi fajlagos ellenállások ismerete nem minden esetben biztosítja a szénhidrogén felismerését.

Az agyagos kőzetekben pl. az agyag annyira lecsökkentheti a réteg fajlagos ellenállását, hogy a szénhidrogéntároló rétegeké sem lesz nagyobb, mint az agyagmentes vizes rétegeké. Ezek az esetek igen nehéz problémát jelentenek és megoldásukhoz véleményünk szerint korszerű szelvényező eszközökre van szükség. Pl. az indukciós szelvények a szónikussal, vagy rövid-normál görbének a szónikussal való kombinálása jó eszköz volna a szénhidrogén rétegek felismeréséhez. Mint tudjuk, a kis ellenállású agyagos kőzetekben az indukciós mérés kb. a valódi fajlagos ellenállást adja közvetlenül. A szónikus szelvény a porozitásra ad jellemző értéket. Az indukciós szelvény értékének a szónikus szelvényből kapott látszólagos formációfaktorhoz viszonyított értéke az Archie-formula alapján egy látszólagos rétegfolyadék ellenállást ad.

$$\frac{R_I}{F_{sz}} = \frac{R_t}{F} = Rwa$$

$$\text{Vizes kőzetben: } R_I = R_o, \text{ tehát } Rwa_{viz} = \frac{R_o}{F_{sz}}$$

$$\text{Szénhidrogénrétegben: } R_I - R_t = \frac{R_o}{Sw^2}$$

$$\text{Tehát: } Rwa_{CH} = \frac{R_I}{F_{sz}} = \frac{R_o}{Sw^2 F_{sz}} = \frac{R_{a_{viz}}}{Sw^2}$$

Mivel Sw az egységnél kisebb, a szénhidrogén rétegekben kapott Rwa_{CH} nagyobb a vizes kőzetekben kapott Rwa -nál.

Tehát az Rwa értékek megemelkedése a szénhidrogén jelenlétére utal. Most vegyük a másik kombinációt. Általában a homokkövekben a rövid normál szonda az R_i közelítő értékét méri, amely az iszapfiltrátum fajlagos

ellenállásával elosztva egy F_R látszólagos formációfaktort ad. A szónikus szelvényből ugyancsak egy látszólagos formációfaktort kapunk, amellyel ha elosztjuk a rövid normálból kapott értéket, a vizes homokban 1-nek megfelelő értéket kapunk, vagyis

$$R_N = R_i \quad - \quad \frac{R_i}{R_{mf}} = F$$

$$\frac{R_N}{R_{mf}} \cdot \frac{1}{F_{sz}} = \frac{R_i}{F_{mf}} \cdot \frac{1}{F_{sz}} = \frac{F_N}{F_{sz}} \approx 1$$

szénhidrogén homokban:

$$\frac{R_i}{R_{mj}} = \frac{F}{S w_i^2}$$

$$\text{Így: } \frac{F_N}{F_{sz}} = \frac{R_i}{R_{mf} \cdot F_s} = \frac{F_H}{F_{sz} S w_i^2} = \frac{1}{S w_i^2} > 1$$

Látjuk, hogy ez a műszerkombináció is kiugró értékkel jelzi a szénhidrogén rétegeket. A fenti viszonyértékek nomogram segítségével történő felrakása igen egyszerű és ha azokat az egész vizsgálandó lyukszakaszra megfelelő részletességgel felrakjuk, a szénhidrogén rétegek mind a két görbén kiugró értékkel jelentkeznek még az agyagos rétegekben is. Ugyanis ott, ahol az agyag hatására az indukciós értéke csökken, a szónikus által mért Δt nő, azaz a szónikussal kapott formációfaktor szintén csökken. Mivel az agyagosság mindkét tényezőt kb. ugyanolyan mértékben csökkenti, a két érték viszonya csak a szénhidrogén-tartalomtól függően tér el a vizes rétegekben kapott értékektől. A gáz tovább csökkenti a szónikus formációfaktort, azért a gázos

rétegek még kiugróbb értékkel jelentkeznek az R_{wa} és az $\frac{F_N}{F_s}$ görbéken. Mint-hogy a pontok kiszámítását és azoknak a mélység függvényében (szelvényszerűen) való felrakását könnyen gépesíteni lehet, a fenti kombinációs módszerek igen nagy előrelépést jelentenek a hazai szénhidrogén kutatásban.

A szénhidrogén kutatása a karbonátos kőzetekben még nehezebb feladat. Ezen a téren még csak kezdeti lépéseink vannak. Csupán annyit említünk meg, hogy a karbonátos kőzetekben a laterolog és a neutron görbe kombinálásával, továbbá redox potenciál és pH méréssel próbáljuk a szénhidrogéneket kimutatni. A kísérleti eredmények kiértékelését, így a módszerek hatékonyságát megnehezíti, hogy a karbonátos kőzetekben nem mindenhol tudunk beáramlást kapni.

A kőzetalkotó elemek tulajdonságaihoz legközvetlenebbül a radiológiai módszerek kapcsolódnak. Általános alkalmazásukról (term.-gamma, gamma-gamma, neutron-gamma) előzőkben szóltunk. A továbbiakban ezért ezeknél a méréseknél csupán azt kívánjuk meghatározni, hogy melyek azok az utak, melyek a mérések színvonalát a jelenleginél magasabbra emelhetik és a nyerhető információk mennyiségét növelhetik.

Lényegesen szélesebbre kell fogunk mondanivalónkat azoknál az eljárásoknál, melyeknek a hazai kutatásokban legfeljebb csak csíráit találhatjuk meg, de amelyek a külföldi szakirodalomban sokat ígérően jelennek meg.

Ezek az eljárások a mesterségesen létrehozott radioaktív bomlási folyamatok kapcsán fellépő gamma sugárzások vizsgálatára, legfejlettebb formájukban ennek energiaeloszlás szerinti megkülönböztetésére alapulnak.

Az alkalmazásban levő eljárások továbbfejlesztése is számos lehetőséget rejt magában:

A természetes gamma szelvényezés – mint ismeretes – a kőzetekben jelenlevő természetes bomlást szenvedő elemek összes sugárzásának regisztrálását jelenti, tekintet nélkül a gamma-kvantumok energiájára. A mérések értelmezése azon a gyakorlati tapasztalaton alapszik, hogy az egyes üledékes kőzetfélések elsősorban K^{40} -es izotóptartalmuktól függően sugároznak, tehát ezen keresztül azonosíthatók. (Ezt a tapasztalatot bizonyos mértékig igazolni lehet a geokémiának az egyes kőzetekben előforduló elemek eloszlási százaléka-ra vonatkozó adataival.) Ez az interpretáció – megfelelő kalibrációval – továbbfejleszthető az agyagosság meghatározásáig a kutatási területekre vonatkozó helyismeretek feltételezésével (l. előbb). Nem alkalmazható az előző megfontolás akkor, ha fel lehet tételezni, hogy az észlelt gamma sugárzás részben vagy egészben nem a K^{40} -es izotóptól származik. Annak eldöntése, hogy a természetes sugárzás melyik természetes radioaktív bomlást mutató elemtől származik, azonban csak a sugárzás energiájának mérése alapján lehetséges.

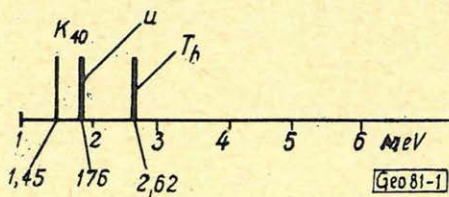
1. ábránk a három (legjelentősebb) természetes bomlást mutató elem: az U, a Th és a K^{40} gamma spektrumvonalait mutatja be. A spektrum lágyabb részében ($E < 1,3$ MeV) igen sok vonal van. Ezek Compton csúsaikkal együtt zavarossá teszik a képet. A spektrum keményebb részében három jellemző vonal van: K^{40} – 1,45 MeV; U – 1,76 MeV; és Th – 2,62 MeV.

A valóságban felvehető spektrumok természetesen korántsem olyan egyszerűek, amint azt az 1. ábra bemutatja, legfőképpen azért, mert a kőzetekben fellépő szóródás és elnyelés deformálja az eredeti eloszlási viszonyokat.

A természetes gamma sugárzás spektrumának felvételéből, illetve ezen keresztül a sugárzást előidéző természetes bomlást mutató elemek mibenlétének megállapítására vonható következtetések jelentőségét aligha kell külön felsorakoztatnunk. Legelőször is az, hogy a K tartalom szerint az agyagásványok tagolását lehet vele megoldani. Az urán, tórium, kálium arány meghatározása fontos jellemzője lehet az üledékképződés geokémiai viszonyainak. A sugárzás tóriumtól való származása karbonátos kőzetekre utal, amelyek a sugárzási szint segítségével tagolhatók. Jelentősége lehet a hasadó anyagok kutatásában is.

A természetes gamma spektrum fúrólukbeli mérésére még a kezdeti lépéseket sem tettük meg. Hazai viszonylatban a kőzetek természetes gamma sugárzásából nem vonunk le több következtetést mint a PS görbéből, pedig a természetes gamma sugárzás a kőzeteknek az előbbinél sokkal jellemzőbb – és jobban megfogható tulajdonsága.

A mesterséges sugárforrások – izotópok – alkalmazásával végezhető mérések közül a gamma sugár szóródásán alapulóknak, a gamma-gamma eljárásnak, vannak legjobban tisztázva fizikai folyamatai és el-



1. ábra. U, Th, K^{40} fő spektrum vonalai

méleti összefüggései. Ugyancsak kialakulnak mondhatók – hazai viszonylatban is – az optimális eredményt biztosító mérés technikai feltételek is.

Kevésbé ismeretesek azok a lehetőségek, melyek a térfogatsúlyok és más kőzetparaméterek kombinációjából adódnak.

Tiszta rétegek víztelenítettségének meghatározására egyesületünk múlt évi ankétján mutattunk be példát. Itt a fajlagos ellenállás és a térfogatsúly kombinációja került megvalósításra.

Alábbiakban röviden R. P. Alger és társai alapján az akusztikus szelvényrel való kombináció lehetőségét mutatjuk meg bonyolultabb problémák megoldására.

Lemezes felépítésű agyagos homokok porozításának meghatározása a térfogatsúlyra, illetve akusztikus sebességre (útidőkre) vonatkozó alábbi egyenletek együttes megoldásával lehetséges.

$$\rho_b = p\rho_{sh} + (1-p)[\varphi_{sd}\rho_f + (1-\varphi_{sd})\rho_g]$$

ahol: p – az agyagfrakció
 ρ_{sh} – az agyag térfogatsúlya
 φ_{sd} – a homokcsík porozítása
 ρ_g – a kőzetmátrix sűrűsége

$$\Delta t = p\Delta t_{sh} + (1-p)[\varphi_{sd}\Delta t_f + (1-\varphi_{sd})\Delta t_m]$$

ahol: Δt – a szelvényből kiolvasott útidő
 Δt_{sh} , Δt_f , Δt_m – az agyaghoz, a rétegfolyadékhoz, és kőzetmátrixhoz tartozó útidő.

A két egyenlet grafikus megoldását

2. ábránk mutatja, melyből ρ_b és Δt ismeretében az agyagösszesség és a porozítás kiolvasható.

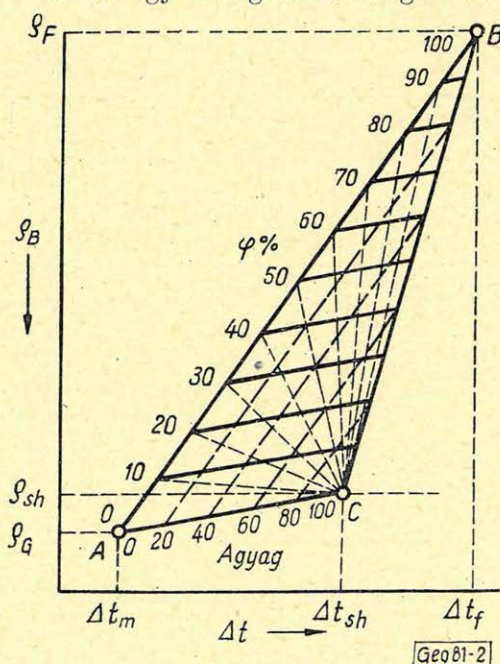
A nomogram A, B, C pontjainak koordinátái:

A – a kőzetmátrix sűrűségpontja ($2,65 \text{ g/cm}^3$) és a kőzetmátrixhoz tartozó útidő ($55,5 \mu \text{ sec/láb}$)

B – a tiszta víz pontja $\rho_f = 1,00 \text{ g/cm}^3$
 $\Delta t_f = 189 \mu \text{ sec/láb}$

C – a 100% agyag pontja. Adatai egy közeli tiszta agyag szelvényei alapján határozhatók meg.

Ez a megoldás ugyan a legkevésbé bonyolult esetre vonatkozik, de ugyanott találhatunk útmutatást a komplikáltabb esetekre is. Hogy ezek az érdekes megoldáskombinációk még kivételesen sem kerültek nálunk alkalmazásra, abban elsősorban nem



2. ábra. Gamma-gamma és akusztikus szelvények adatainak kombinációja

a sűrűségszelvényezés az ok, hanem az akusztikus szelvényezés teljes hiánya hazánkban.

Nem kívánjuk részletezni a szórt gamma sugárzás energia érzékeny vagy legalábbis energia szelektív regisztrálásával elérhető eredményeket, bár erről az irodalomban számos adat található. Arra is utalni szeretnénk, hogy a gamma-gamma méréseknek a fűrőlyuk technikai paraméterei meghatározásában is fontos szerepe lehet. Pl. a cementpalást állapotának utólagos meghatározása a kőolajkutatásban fontos feladat, mely a gamma-gamma mérésekkel jól megoldható.

A *neutronos mérések* a mesterséges sugárforrások alkalmazásával végezhető mérések másik csoportja.

Mielőtt az egyes mérésfajták csoportosítását elvégeznénk röviden összefoglaljuk azokat az alapjelenségeket, melyek a neutron sugár és az anyag kölcsönhatásaképpen fellépnek. Ezek szabják meg ugyanis azokat a méréseket, melyek a neutron források alkalmazásával végezhetők. Az általában használatos neutron-forrásokból lassú és gyors neutronok lépnek a rétegbe.

A gyors neutronok az atommagokkal *rugalmatlan szóródásos* kölcsönhatásba lépnek, azt gerjesztett állapotba hozzák. Az atommag alapállapotba való visszatérése 1 vagy több gamma-kvantum kisugárzásával történik. Rugalmatlan szóródás nagyobb valószínűséggel, csak a vasnál nagyobb atomsúlyú elemekre és 1 MeV-nél nagyobb neutron energiák esetén következik be.

Gamma-sugár kibocsátása nélkül történik a neutronok rugalmas ütközése. Ennek folyamán a neutron kisebb lépésekben adja le energiáját és válik hőneutronná. Az energia leadás leggyorsabban hidrogén magokkal való ütközés folyamán megy végbe. A végső eredmény termikus neutron, mely az anyag atomjai között diffúziós mozgást végez. Hosszabb-rövidebb diffúziós út után befogódik és gamma-sugárzást bocsát ki. Ez a *radiációs befogás*. A neutronfelhőnek a forrás körüli kialakulása a környező közegtől, elsősorban annak hidrogén-tartalmától függ. A sugárzásnak jellemző spektruma van.

A gamma-sugárzások fellépésének időbelisége szintén a környezettől függ, de ennek jelentősége csupán az impulzus üzemű neutron generátoroknál van.

A vázolt folyamatokban fellépő kétféle gamma-sugárzás csak addig tart, amíg a neutron fluxus. Annak megszűntével megszűnik (néhány 100 μ sec-on belül).

A neutron befogás következtében azonban a közetalkotó elemek atomjainak *izotópjai keletkeznek*, melyek a legtöbb esetben tovább bomlanak. Bomlásuk jellemző felezési idővel és karakterisztikus energiájú gamma-kvantumok kisugárzásával történik.

Mindezen folyamatok figyelembevételével neutron forrásokkal végezhető mérések az alábbiak szerint csoportosíthatók:

I. Neutron forrással

1. Gyors neutronok sűrűségeloszlása
2. Lassú neutronok sűrűségeloszlása
3. A rugalmatlan szórásból és radiációs befogásból eredő gamma-sugárzás (együttesen)
 - a) regisztrálása
 - b) spektrumának felvétele

4. A felaktivált elemek

- a) lebomlásának vizsgálata gamma-sugárzásuk alapján (ez a felezési időre alapított megkülönböztetés)
- b) gamma spektrumának vizsgálata

II. Folyamatosan működő, de diszkrét energia tartományban dolgozó neutron generátor alkalmazása esetén az előzőkön kívül:

5. A neutron aktiválási keresztmetszetek neutron energia függősége alapján meghatározott elemek atommagjainak szelektív aktiválása és erre alapítva a 4. alatti mérések.

III. Impulzusos üzemű neutron generátor esetén:

A 3. pont alattiak az alábbiak szerint alakulnak:

6. A rugalmatlan szórásból származó gamma-sugárzás

- a) regisztrálása
- b) spektrumának felvétele

7. A radiációs befogásból származó gamma-sugárzás

- a) regisztrálása
- b) spektrumának felvétele

8. A neutron élettartamát vizsgáló módszer (élettartam szelvényezés).

Az 1., 2. és 3/a) alatti vizsgálatok általánosan ismertek. A detektálás műszeres kérdéseinek megoldásától függően többé kevésbé általánosan elterjedtek, ezért ezekkel részletesebben nem foglalkozunk. Mindenesetre azt megállapíthatjuk, hogy a 3/a) alatti mérések bevezetetteknek tekinthetők és iparilag is számottevő alkalmazást nyernek egyes olajfűrészi kérdésekben és szerepelnek a köszénkutatók kísérleteiben.

Alábbiakban a hazai adottságok figyelembevételével vizsgáljuk az egyes előzőekben felsorolt módszerek megvalósítási lehetőségét és földtani kutatásbeli eredményességét. Jelenlegi felkészültségünk mellett csak a kevés választékot mutató izotópos neutron forrásokkal és a nem energiászelektív detektálási lehetőségekkel számolhatunk. A közeli jövőben méréseink kiterjednek a gamma energiák detektálására — tehát gamma spektrum felvételére is.

A még további jövő eredményei közé fog tartozni a neutron generátor bevezetésének lehetősége (részben a detektálás fejlődésével párhuzamosan).

Megvalósíthatóság szempontjából tehát legközelebb áll a radiációs gamma spektrum felvétele és a neutron aktiválás említett két formája.

A radiációs gamma spektrum

Előzőekben már említettük, hogy a „közönséges” neutron gamma mérések effektusának zömét a neutron radiációs befogásából eredő gamma-sugarak adják és a rugalmatlan szóródásból — valamint az egyes elemek felaktiválásából származó gamma-sugarak csak alárendelt szerepet játszhatnak.

A radiációs befogási gamma-sugárzás, mint a befogás által gerjesztett állapotba került atommagnak alapállapotba visszatérésekor kisugárzott energia hordozója, jellemző az atommagra, és amennyiben mérése megvalósítható, az elem meghatározását is lehetővé teszi — legalábbis elvileg.

Laboratóriumi mérésekből a kőzetekben előforduló legtöbb elemre vonatkozóan jól ismertek a kisugárzott gamma-kvantumok energiái és a radiációs befogás hatáskeresztmetszetei. Ezeket 1. táblázatunkban mutatjuk be.

Radiációs neutron befogásnál fellépő gamma-sugarak energia-eloszlása

Elem	100 befogásra eső gamma kvantumok	Gamma energia MeV	Elosztás %	Elem	100 befogásra eső gamma kvantumok	Gamma energia MeV	Elosztás %
H	100	2,23	100	Cl	237,5	7,42–8,58 6,11–6,99 5,28–5,72 3,9–4,96 2,51–3,63 1,60–1,95 1,16 0,51–0,79	10,5 16 3,9 7,6 12,2 14 15,2 20,6
Be	125	6,82 3,41	60 40				
C	125	4,95 3,68 1,26	60 20 20	K	179,6 (51,8)	4,11–7,76 2,30–3,37 1,18–1,06 0,62–0,9	27 25 30 18
Na	309,3	5,12–6,4 3,56–4,9 2,52–3,3 1,35–2,41 0,74–0,87 0,475	9,4 15,9 16,3 17,2 17,2 24	Ca	144 (163,4)	8,37 6,4 4,86–5,9 2,00–4,42 1,94 0,46–1,84	0,02 16 8 26,8 27 22,2
Mg	100,5	4,93–9,27 3,92 3,06–3,58 2,82 1,83–2,43	9,45 29,8 20,9 23,9 15,9	Ti	283,1 (242,7)	6,93–10,6 6,41–6,75 3,03–6,07 1,51–1,8 1,38 0,34	1 35 10,8 8 32 13,2
Al	144,8	7,72 4,94–7,34 3,88–4,79 3,29–3,62 2,84–3,02	24,2 15,7 3,04 10,4 19,3	V	116,1 (74,6)	3,54–7,3 0,42–3,05	61 39
Si	149,4	5,12–10,6 4,93 3,67–4,3 3,55 1,5–2,1 1,28	16 24,6 9,3 24 15,2 10,5	Cr	97,1 (57,8)	7,93–9,72 1,75–7,09 0,75–0,84	48,5 27,9 23,6
				Mn	106,2 (51,3)	5,76–7,26 4,21–5,52 0,97–3,83	35 30 35
P	203,1	6,79 4,16–5,96 2,10–3,9 0,93–1,95 0,43	4,9 14,5 26,8 20 34,8	Fe	122,1	5,51–9,29 2,14–4,94 0,31–1,8	47,4 26,2 26,4
S	215,6 (140)	5,88–8,63 5,44 3,41–5,07 2,55–3,27 2–2,41 0,84	2,8 22,3 14,3 20,6 18,1 22	Co	151,2	4,9–7,49 2,03–4,6 0,73–1,84 0,29–0,56	42,5 8,2 21,1 28,2

Elem	100 befogásra eső gamma kvantumok	Gamma energia MeV	Elosztás %	Elem	100 befogásra eső gamma kvantumok	Gamma energia MeV	Elosztás %
Ni	111,1 (80,6)	8,5 — 9	37	In	114,3	4,62 — 6,38	4,6
		5,31 — 8,1	35			0,56 — 0,64	11,8
		1,10 — 4,2	10			0,28	36,6
		0,28 — 0,47	18			0,17	27
Mo	160,73			Au	111,3	0,1	15,7
		6,39 — 9,15	4,2			0,07	4,3
		1,10 — 1,24	11,2				
		0,844	26,8				
Ag	107,3	0,77	58	Hg	190,16	4,3 — 6,49	24,8
		5,53 — 7,26	6,3			0,097 — 0,4	75,2
		0,27 — 0,3	28			4,12 — 7,66	32
		0,202	40			1,41 — 3,08	24,7
Cd	174,9	0,08 — 0,12	26	Te	51	0,58 — 1,29	21,3
		5,07 — 9,04	11,5			0,37	22
		1,23 — 2,91	26				
		0,66 — 0,82	23,5				
		0,56	39			4,72 — 6,54	100

A „közönséges” neutron gamma felvétel a különböző elemek által kibocsátott sugárzás összegét adja. Energia szerinti szelektálást a gamma spektrum felvétele ad. A gamma spektrum alapján történő részletes elemzés előtt felmerülő problémákat azonban azonnal megérthetjük, ha a néhány leggyakoribb kőzetalkotó elemek, mint a H, Na, Cl, Mg, Ca, Si, Al spektrumát összehasonlítjuk. A legkisebb energiáktól 10 MeV körül igen sok értéket találhatunk a legkülönbözőbb többszörös átfedésben.

Hogy az egyes elemek kimutatása mégsem reménytelen, az több körülmény összehatásának eredménye:

1. A kőzetekben néhány fő elem kivül a többi koncentrációja 1–2 nagyságrenddel kisebb, így nem zavarja a fő elemek erős vonalait.

2. Az egyes elemek radiációs neutron befogási gamma spektrumában kiemelkedően erős vonalak jelentkeznek, melyek jelenléte az elemet detektálja.

3. Az egyes elemek neutron fékezési és befogási keresztmetszetei jelentősen különböznek.

Van viszont a problémának egy további nehézsége: az egyes vonalakat a Compton-szóródás csúcsai kísérik és növelik az észlelhető csúcsok számát, vagy erősen emelik a háttér értékét.

Hogy a vázolt nehézségek ellenére mégsem reménytelen a feladat megoldása, hanem nagyon is sokat ígérő, ezt az alábbiak világosan bizonyítják.

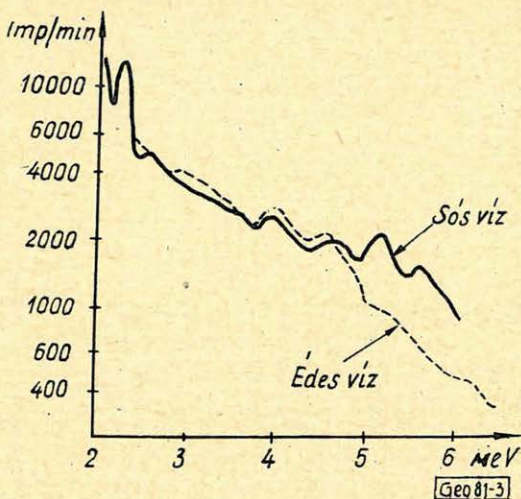
A 3. ábra modellmérés eredménye. A modell édes (szagztatott vonal), illetve sós vízzel (vastag vonal) telített homok. A hidrogén 2,23 MeV energiájú csúcsa dominál a felvételen. A másik határozott csúcs a 4,95 MeV-es szilícium csúcsnak felel meg (a kristályban történő párképződés által eltorzítva).

Nincs meg az oxigénnek megfelelő csúcs az oxigén kis hatás-keresztmetszete miatt.

A 4. ábrán fűrólyuk model-
len kapott két görbe látható.

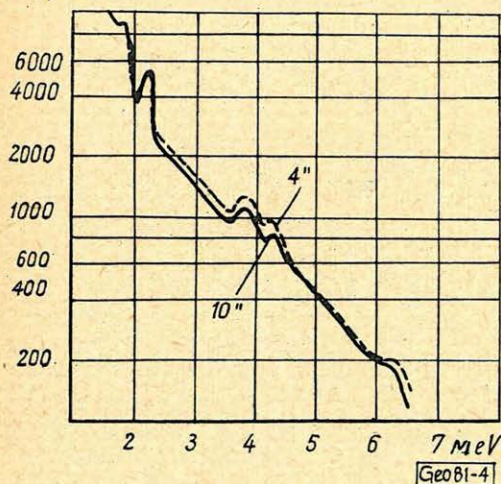
A modell homokréteg édes
vízzel telítve. Jól felismerhetők
az egyes főbb energia csúcsok.
A szaggatott vonal 4'', a folytonos
10''-os fűrólyuk átmérőnek felel
meg.

Neutron generátor alkalma-
zása új lehetőségeket nyit meg.
A nagy neutron fluxus olyan ele-
mek radiációs befogásának vizs-
gálatát is lehetővé teszi, melyek
az izotópos sugárforrásokkal nem
jelentkeznek. A C^{12} és O^{16} csú-
csait mutatja 5. ábránk. A be-
mutatott ábrák modellekre vonat-
koznak. Valóságos fűrólyukviszo-

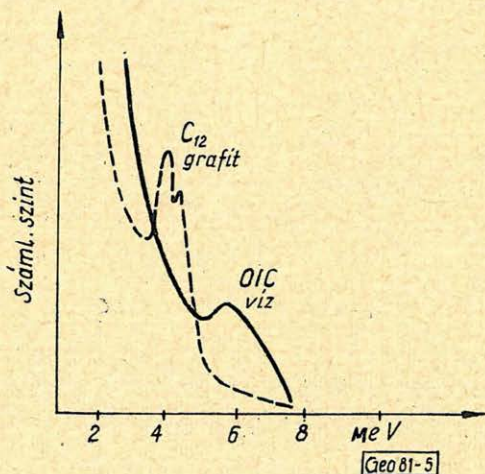


3. ábra. Gamma-spektrum
(édes, ill. sós vízzel telített homokra)

Imp/min



4. ábra. Gamma-spektrum fűrólyuk
modellben



5. ábra. Szén és oxigén gamma spektruma
14 MeV-es neutron generátorral

nyok között a fűróiszap és az esetleges csövezés hatása jelentősen befo-
lyásolja a jelenségeket.

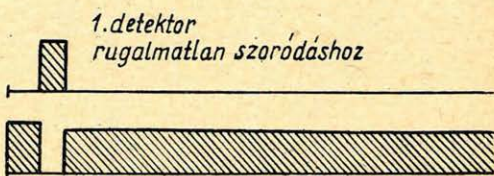
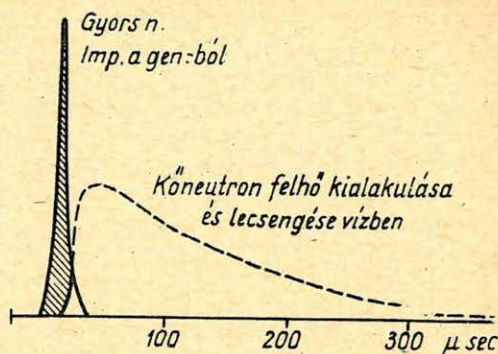
Impulzus üzemi neutron generátor és új mérési lehetőségek.

Vizsgáljuk meg most azokat a lehetőségeket, melyek a pulzációs üzemi
neutron generátor alkalmazásával nyílnak. Azt feltételezzük, hogy olyan
neutron generátor áll rendelkezésünkre, melynek impulzus ideje jelentősen
rövidebb, mint az az idő, amely a gyors neutronoknak vízben történő termikussá
lassulásához szükséges.

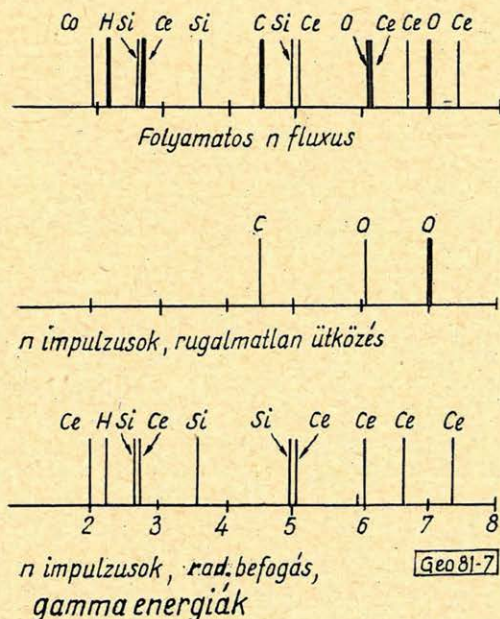
Továbbá azt, hogy az impulzusok gyakoriságát tetszőlegesen lehet szabályozni. A neutron generátorhoz olyan energiamérésre is alkalmas detektorrendszerek csatlakoznak, amelyek egyike a neutron generátor sugárzásával egyidőben működik, a másik a sugárzási szünetekben észlel.

A generátor és a detektorok működési vázlatát 6. ábránk szemlélteti.

A mérő rendszerek és a generátor üzemének ilyen szabályozása mellett lehetőség van egyrészt a gyors neutronok rugalmatlan ütközése folyamán létrejövő gamma spektrumok felvételére, másrészt a radiációs befogás folyamán létrejövő (előzőkben tárgyalt) spektrumok vizsgálatára (ez utóbbit kismértékben a neutron fluxus hatására létrejött aktiválási effektus zavarhatja).



6. ábra. Impulzusos üzemű neutron generátor működési vázlat



7. ábra. Impulzusos üzemű neutron generátor felhasználásával felvehető spektrumvonalak (elvben)

Ilyen felépítésű mérőrendszerrel elérhető spektrum feloldást 7. ábránk alapján értékelhetjük. Az ábra felső sorában fel van tüntetve a folyamatos neutron besugárzás hatására keletkező gamma spektrum (rugalmatlan szóródási és befogási) egy tiszta kvarchomokra, melyben víz és olaj van. A második sor a rugalmatlan szórás gamma spektrumát mutatja, a harmadik a radiációs befogást ugyanarra a rétegmodellre. Látható, hogy a rugalmatlan szóródás spektrumában csak három vonal jelentkezik, melyek közül egyik a szénhez, másik kettő az oxigénhez tartozik.

A valóságos modellmérések során felvehető spektrumok vonalai a gamma szóródás és egyéb háttér effektusok miatt nem ilyen élesek, de — mint azt a 8. ábra mutatja elég jól felismerhetők az egyes elemek vonalai.

Az ábrában vastagon húzott görbék vizes réteg esetére adják meg az izotóppal felvett spektrumot, illetve az impulzusos forrással felvett tiszta radiációs befogási és a rugalmatlan szóródási gamma spektrumot. A vékonyan húzott görbék ugyanezeket mutatják olajos homokokra.

Látható, hogy folytonos neutron forrással felvett görbék legfeljebb a Cl radiációs befogási vonalaiban különböznek, ha a sótartalom elég nagy. Az olajtartalmú réteg jól jelentkezik a rugalmatlan szórás gamma spektrumának C vonalaival.

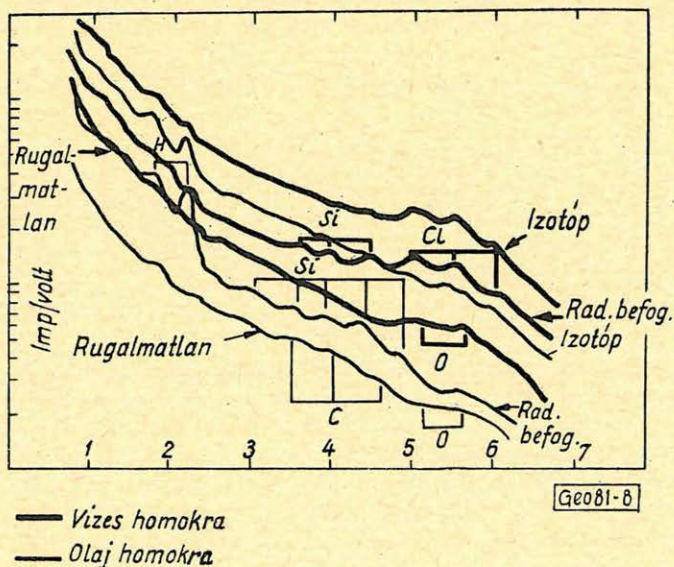
Neutron aktiválás

A neutron aktiválás a felezési időre alapított formájában az irodalomban hosszabb ideje ismert. Első – a mélyfúrási geofizikai gyakorlatban is – jelentős megvalósítása az olaj-víz határ elkülönítésére vonatkozott. (Na gerjesztéssel).

Igen alapos és részletes feldolgozást nyert a módszer bauxitok Al/Si arányának laboratóriumi meghatározására Leipuszkaja és munkatársai által a Szovjetunióban. Az általuk szerzett tapasztalatok tették lehetővé a módszernek fúrólyukba való levitelét, ha korlátozott célkitűzéssel is. Ezt megvalósítottuk hazánkban is.

Aktivációs karottázs eljárásnál a fúrólyuk falát alkotó kőzetekben levő elemeket megfelelő nagy neutron fluxus hatásának teszik ki. Az aktiválási időt a vizsgálni kívánt elemnek az aktiválása által létrehozott radioaktív bomlást mutató izotópja, pontosabban ennek felezési ideje szabja meg. Az aktiválás folyamán keletkező izotóp atomjainak száma függ az időtől és az aktiválandó elem atomjainak a vizsgált térfogatra eső mennyiségétől. A változást az alábbi összefüggés írja le:

$$N(t) = N_0 (1 - e^{-\lambda t}) e^{-\lambda(t-t_0)}$$



8. ábra. Fúrólyuk modellen mért gamma spektrumok impulzus üzemi neutron generátor felhasználásával

ahol: t_0 — az aktiválás időtartama,
 λ — az izotóp bomlási állandója,
 N_0 — az aktiválható atomok max. lehetséges száma (a vizsgált térfogatban).

A vizsgálat kétféle metodikával történhet:

1. folyamatos aktivációs karottázs mérésekkel
2. az $N=N(t)$ lebomlási görbe megméréseivel.

A folyamatos aktivációs karottázs nyilvánvalóan csak olyan izotóp esetén alkalmazható, melynek felezési ideje nem túl hosszú, de nem is túlságosan rövid. A kísérletek szerint legjobb, ha néhány perc körül van.

A lebomlás pontonkénti vizsgálata lényegesen nagyobb felezési idejű izotópokra is kiterjedhet, de a néhány órát mindenképpen felső határnak kell tekinteni.

Annak eldöntésére, hogy milyen földtani feladatok megoldására alkalmas a módszer, két kérdéscsoportot kell figyelembe vennünk:

1. Az aktiválással meghatározni kívánt elemek aktiválási tulajdonságait (felezési idő, energia igény, hatáskeresztmetszet, előfordulási arány stb.)
2. A módszerek elvi és technikai korlátait.

A kérdésre adandó válaszhoz szovjet szerzők alapján bemutatjuk a 2. táblázatot, mely az üledékes kőzetekben leggyakrabban előforduló elemeket és aktivált izotópjait tartalmazza. A táblázat nem törekszik teljességre, csupán példaként szolgál.

A táblázatból az állapítható meg, hogy az üledékes kőzeteket alkotó legfőbb elemek közül elsősorban az Al^{28} Na^{24} Mn^{56} Mg^{27} Cl^{38} Ca^{49} -nak mint leányelemek a keletkezéséhez vezető folyamatok mutatkoznak legalkalmasabbnak az anyaelem megállapítására.

Ezek közül is a termikus neutronok hatására létrejövő $\text{Al}^{27} \rightarrow \text{Al}^{28}$ reakció az, mely folyamatos karottázs mérések kialakítására alkalmas. A $\text{Si}^{28} \rightarrow \text{Al}^{28}$ reakció, mely gyors neutronok hatására jön létre, részben mint az előző folyamatot zavaró jelenség veendő figyelembe, másrésztől azonban termikus és gyors neutronnal történő gerjesztés esetén, lehetőséget ad az Al és a Si tartalom meghatározására.

A módszer korlátai közül a legfontosabbak:

1. Az aktiválás folyamatában nemcsak a vizsgálni kívánt elem (vagy elemek) izotópjai vesznek részt, hanem az összes jelenlevők, melyek magas „háttér” értéket adnak, amiből hasznos sugárzást ki kell választani.
2. A műveletek általában igen időigényesek.
3. A nagy erősségű sugárforrásokkal való műveletek egészségvédelem szempontjából is nehézségeket okoznak.

Ezek a problémák azonban nem befolyásolhatják a módszer alkalmazását különösen speciális feladatok megoldására. Az egyes elemek aktiválódását jellemző táblázatunk tartalmazta a felezési időket és a bomlás folyamán felépülő gamma-sugárzás energiáját is.

A neutron aktiválás folyamatos karottázs mérések formájában történő megoldása a leányelem bomlásának felezési idejére van alapítva. Pl. a bauxitok Al koncentrációjának meghatározására szolgáló folyamatos karottázs mérésénél a szonda haladási sebességét elsősorban az Al^{28} 2, 3 perces felezési ideje határozza meg.

Neutron aktiválási adatok néhány elemre

Kiindulási elem	Előfordulási %	A folyamat jellege	A keletkező leányelem	Felezési idő	A kilépő gamma energiák
H_1^1	—	(n, γ)	—	—	nincs
C_6^{12} M_6^{13}	—	„	—	—	„
O_8^{16} O_8^{17}	—	„	—	—	„
O_8^{18}	0,2	„	O_8^{19}	27 sec	1,2 2,75
Na_{11}^{23}	100	„	Na_{11}^{24}	15,1 óra	1,37 0,84
Mg_{12}^{26}	11,1	„	Mg_{12}^{27}	9,39 min	0,05
Al_{13}^{27}	100	„	Al_{13}^{28}	2,3 min	1,78
Si_{14}^{30}	3,12	„	Si_{14}^{31}	157 min	nincs
S_{16}^{36}	0,01	„	S_{16}^{37}	5 min	2,75
Cl_{17}^{37}	24,6	„	Cl_{17}^{38}	37,3 min	2,12 1,6
K_{19}^{41}	5,6	„	K_{19}^{42}	12,44 óra	1,51 2,06
Mn_{25}^{55}	100	„	Mn_{25}^{56}	2,59 óra	1,77 0,822
Fe_{26}^{58}	0,26	„	Fe_{26}^{59}	47,1 nap	1,098 0,191
Al_{13}^{27}	100	(n, α)	Na_{11}^{24}	15,1 óra	2,75 1,37
Si_{14}^{28}	92,3	(n, p)	Al_{13}^{28}	2,3 min	1,78
Ca_{20}^{48}	0,179	(n, γ)	Ca_{20}^{49}	2,5 óra	0,8 2,06
Fe_{26}^{56}	91,56	(n, p)	Mn_{25}^{56}	2,59 óra	1,77 0,822
Mg_{12}^{24}	77,4		Na_{11}^{24}	15,1 óra	2,75 1,37
Al_{13}^{27}	100		Mg_{12}^{27}	10,2 min	84 0,05

3. táblázat

Spektrális neutron aktiválási adatok üledékes kőzetekre

Elem	Aktivációs hatáskeresztmetszet cm^2/g	Izotóp felezési idő	Az aktivációs gamma-sugárzás energiája MeV
Alumínium	$4,65 \cdot 10^{-3}$	Al^{28} (2,3 perc)	1,8
Vanádium	$5,3 \cdot 10^{-2}$	V^{52} (3,8 perc)	1,45
Kén	$3,7 \cdot 10^{-7}$	S^{37} (5,0 perc)	3,1
Réz	$5,1 \cdot 10^{-3}$	Cu^{66} (5,1 perc)	1,04
Magnézium	1,3	Mg^{27} (9,5 perc)	0,84; 1,02
Kalcium	$2,5 \cdot 10^{-5}$	Ca^{39} (8,8 perc)	3,1; 4,04
Klór	$2,3 \cdot 10^{-3}$	Cl^{49} (38 perc)	1,6; 2,15
Mangán	$1,38 \cdot 10^{-1}$	Mn^{56} (158 perc)	0,8; 1,8 3,0

Ha a felezési időnek ezen döntő szerepe szempontjából vizsgáljuk a kérdést, azt látjuk, hogy az egyes elemek aktivált izotópjainak felezési ideje közel áll egymáshoz, mint azt *3. táblázatunk* római számmal jelzett csoportjai mutatják. Ha ezen csoportokon belül kell különbséget tenni, illetve egyes elemek detektálását vagy mennyiségi meghatározását elvégezni, akkor a gamma spektrumokban jelentkező különbségeket kell felhasználni. A táblázatban jól látható, hogy a szóban levő csoportok elemei között a gamma energiák alapján jó szétválasztás végezhető.

A *spektrális neutron aktivációs karottázs* mérések új széles kutatási lehetőséget nyitnak meg.

További lehetőségeket nyit meg a neutron aktiválás területén az impulzusos üzemű neutron generátor alkalmazása. Ez, kombinálva a spektroszkópiával, a jelenlegi legfejlettebb kutatási szintet képviseli.

Ez az eljárás — a bauxitkutatást nem is említve — a különleges agyag-ásványok kutatásában perspektivikus. A szénhidrogének termelésével kapcsolatos számos probléma, különösképpen pedig a tároló rétegen belüli víz-olaj határ kimutatása csővezetett fúrásban a rétegvíz klór- vagy nátrium-tartalmának aktiválása útján megoldottnak tekinthető. A rövid felezési idejű izotópok detektálása, sugárzásuknak a radiációs befogási sugárzástól független észlelése, impulzusos üzemű neutron generátorral új lehetőséget teremt az $O^{16} \rightarrow N^{16}$ (7,3 sec) és a $C^{12} \rightarrow B^{12}$ (0,025 sec) reakciók felhasználására, melyek az oxigén és karbonium koncentrációnak a fúróluk mentén való eloszlását adják meg.

A műszerfejlesztés kérdései

Tízegynéhány évvel ezelőtt, mikor első GM detektoros lyukműszereinket szerkesztettük, a szcintillációs detektálás csak indult. Ma korszerűnek, speciális célokra szolgálóktól eltekintve, csak az energia felbontásra is képes radiológiai műszerek tekinthetők. Az energia felbontás lehetőségének természetesen meg van az ára is — a foton sokszorozó csövek üzemeltetési problémáiban.

Most új detektálási eszköznek a félvezetős detektornak a körvonalai kezdenek kibontakozni. Ez a változás is forradalmi lesz a radioaktív mérésekben. Akár a szcintillációs kristályhoz csatlakozó fotodióda, akár a közvetlenül a megfelelően kialakított félvezetős detektor kerül kifejlesztésre (vagy esetleg mindkettő), valószínű, hogy a szondaáramkörök leegyszerűsödnek és az energia szerinti szétválasztás szelektivitása növekszik még neutronok esetére is.

Ez és a határozott iránykarakterisztikák kialakíthatósága új lehetőséget kínál a geofizikusoknak is.

A továbbiakban az *olajiparban alkalmazott*, illetve a fejlesztés alatt álló *műszereket* foglaljuk össze.

Jelenleg a műszerkutatás és fejlesztés négy főirányban folyik:

1. Új módszerekhez, ill. módzatokhoz szükséges műszerek kialakítása.
2. Az egyre bonyolultabbá váló fúrási körülményeket kielégítő műszerek tervezése.
3. A szelvényezés termelékenységének fokozására irányuló munkák.
4. A szelvényezés gépesítésére szolgáló műszerek kialakítása. Ez utóbbi magában foglal bizonyos munkatermelékenység-növekedés lehetőséget is,

de mégis külön kell tárgyalni, mert ez a „műszercsalád” elsősorban nem a munkatermelékenység növelését, hanem az interpretációs munka tökéletesítését és gyorsítását szolgálja.

Az új módszerek alkalmazásához szükséges műszerek fejlesztése nagyon szerteágazó, hisz magában foglalja az elektromos ellenállásmérő műszerektől kezdve a nukleáris és szónikus műszereken keresztül a technikai feladatokhoz végzendő mérések műszereinek (pl. ferdeségmérők, karmantyúlokátorok, stb.) fejlesztését egyaránt. Így e témacsoportban csak néhány, számunkra különös fontossággal bíró, műszercsalád fejlesztéséről kívánunk beszélni.

A legklasszikusabbnak mondható területen: az ellenállásszelvényezés területén világszerte folytatódik az irányított áramtérrel működő ún. laterolog műszer-család fejlesztése. E területen két fő irány van. Az egyikhez tartoznak a három elektródás ún. *Guard-rendszerek*. Ezeknek fejlesztésével az USA-ban és a Szovjetunióban foglalkoznak. A másik irányzathoz a *hét-, ill. kilenc elektródás ún. laterolog berendezések* tartoznak. Ezeknek fejlesztésével fent említetteken kívül Magyarország is intenzíven foglalkozik.

E rendszerek működése közismert, így csupán annyit kívánunk megemlíteni, hogy a Magyarországon kialakított és néhány éve üzemelő laterolog berendezések beváltották a hozzájuk fűzött reményeket a nagy ellenállású tárolók interpretációjánál, valamint a bonyolult litológiai rétegsorok tagolásánál. Ennek illusztrálására bemutatunk egy mészkőtárolóban felvett laterolog szelvényt egy konvencionális ellenállásszelvénnel összehasonlítva (9. ábra).

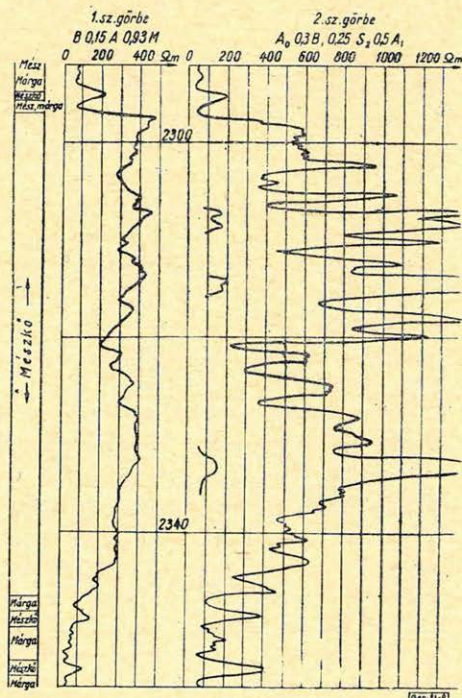
A közelmúltban készült el a *mikrolaterolog* berendezés első példánya. E berendezéssel sikeres kísérleti méréseket végeztünk. Terveink szerint 1965 végére kívánjuk ellátni az olajipart ilyen berendezésekkel. Ezzel párhuzamosan tovább folytatódnak a két érnél kevesebb eret igénybevevő berendezések kialakítására irányuló munkák. Ezek előre láthatólag 1966-ban lépnek az üzemi bevezetés stádiumába.

A másik igen fontos műszer-család az indukciós szelv. berendezések, amelyek a kőzetek vezetőképségeinek meghatározására szolgálnak, szerencsésen egészítik ki a laterolog család műszereit, minthogy az indukciós műszerek első sorban kis fajlagos ellenállású formációk vizsgálatára alkalmasak, ellentétben a laterolog berendezésekkel.

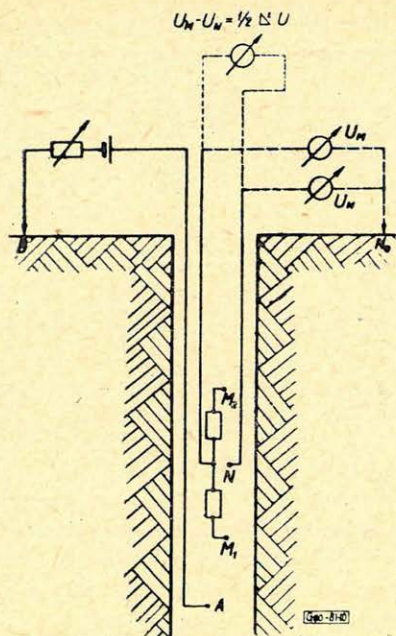
Indukciós műszerek gyártásával és fejlesztésével ma elsősorban a Szovjetunióban és az USA-ban foglalkoznak.

Az indukciós szonda fent leírt sajátosságából kitűnik, hogy az igen széleskörű elterjedésre tarthat számot valamennyi agyag-homok rétegsorból álló szénhidrogén kutatási területen.

Példaként megemlítjük, hogy a magyarországi területek mintegy 80%-a



9. ábra. Konvencionális és laterolog felvétel



10. ábra. A „divergencia karottázs”
vázlata

tőiséget adnak a fúrás által harántolt rétegsor igen részletes, pontos tagolására.

A Magyar Olajipar kifejlesztette és sikeresen alkalmazza az ún. *hasadék indikáló szondát*, amely lehetőséget ad a fúrólyuk falán keresztülfutó 30 mikronnál nagyobb széttartású repedések egyedi detektálására, ha azok egymástól 30 mm-nél nagyobb távolságra helyezkednek el. Egy tömött mészkrétából készült szelvényt mutat be a 11. ábra.

Itt a tömött szakaszok helyét igen kis feszültségértékek és sima lefutású görbe jellemzi, míg a repedések helyét éles túl-impulzusok. Az elsődleges porózitású szakaszokat megnövekedett egyenlőtlen futású potenciál érték jellemzi. Jelenleg folyamatban van e módszer továbbfejlesztése a repedés méretének meghatározására.

Egy másik speciális feladat megoldására készül szintén az Olajiparban az ún. „szendvics-tagoló” szonda.

Ennek feladata, hogy a flis és flisjellegű igen sűrűn váltakozó kőzetek pontos, a mennyiségi értelmezéshez szükséges, tagolását biztosítsa.

A másik, ma már klasszikusnak mondható területen a *radioaktív karottázs* fejlesztési területén is szerteágazó munka folyik. Az iparban alkalmazott GM-csőves természetes-gamma, neutron-gamma, gamma-gamma és izotópos eljárások ma már sok vonatkozásban elavultak. Világszerte elterjedten alkalmazzák a szcintillációs detektorral ellátott integrális regisztrálási és az energia-szelektív regisztrálási módokat.

Magyarországon jelenleg folyik ilyen műszerek fejlesztése. Az Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézetben a közelmúltban fejeződött be egy kísérleti szonda előállítás.

ilyen rétegsorral rendelkeznek, ezért igen fontos lenne hazai alkalmazásának minél gyorsabb megvalósítása.

Igen érdekes új kísérletről számolt be nemrégiben L. M. Alpin egy munkájában: az igen nagy ellenállású tárolók vizsgálatára kialakított új eljárásról, a *divergencia karottázsról*. Ennek lényege a következő (10. ábra). Egy tápelektrodán keresztül áramot bocsátunk a majdnem végtelen nagy fajlagos ellenállású kőzetbe. Ettől adott távolságra elhelyezett két, a rajzon feltüntetett, referencia elektrodán mérjük a fúrólyukban elvileg végtelen kis távolságon bekövetkező áramsűrűség-csökkenést, amely jellemző a kőzetek elektromos vezetőképességére.

A kőzetmatrix és a kőzetek hézagterét kitöltő közegek különböző ellenállásán alapuló módszerek népes családja az utóbbi években tovább szaporodik. A fejlődés iránya a fent említettekben kívül olyan speciális rendeltetésű mérőműszerek felé fordul, amelyek lehe-

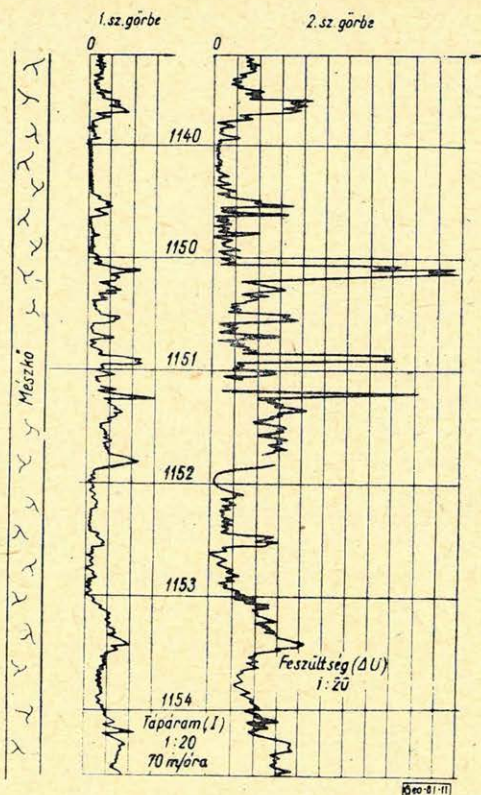
Itt kívánjuk megemlíteni, hogy a nukleáris geofizikának új perspektívákat mutatnak a *neutron generátorok*, a nagy energiájú gammakvantokat létrehozó *betatronok*, valamint a *rétegt tranzistoros detektorok*. Jó lenne ha az illetékes Kutató Intézetek már ma bekapcsolódnának a kutatási munkába, mert e területen viszonylag könnyebben tudnánk világszínvonalon mozgó műszereket produkálni, minthogy ezeken a területeken a kutatás külföldön is csak most kezdődik.

A harmadik jelentős műszer-család a *szónikus műszerek* csoportja.

Magyarországon e műszerfejlesztési téma csak a távlati tervekben szerepel. Az első ilyen műszerek, amelyek egy vevő készülékkel voltak ellátva a hangterjedési sebességét mérték, eredetileg szeizmikus kutatási célokat szolgálták. A mai modern két, ill. három vevővel ellátott berendezések hasznos információkat szolgáltatnak a kőzetek porozitásáról, szénhidrogén telítettségéről és így a karottázs gyakorlatban is elterjedten alkalmazhatók. Ezeknek a műszereknek egy továbbfejlesztett változata az ún. cementlog, amely lehetővé teszi a terjedési sebesség mérésén kívül a hanghullámok intenzitás csökkenésének megfigyelését is.

Végezetül az új műszerek fejlesztési terén beszélni kell az ún. *technikai eljárásokhoz* szükséges műszerekről. Az utóbbi néhány évben jelentősen kibővült a karottázs technikai szolgáltatásainak köre. A ma már klasszikusnak tekinthető *lyukferdeség*, *lyukbőség* és *hőmérsékletmérés*en kívül elterjedten alkalmazták a *cementpalást tetejének meghatározására szolgáló különböző nukleáris műszereket*; a pontos mélység meghatározására a *permanens-mágnesű és váltakozó áramú karmantyúlokátorokat*; a fúrórudazat megszorulásának kimutatására szolgáló *szabadpontlokátorokat*, és a régen használatos *oldal-maglövő puskákhoz* felzárkóztak a kábelben működő *oldal-magfúró berendezések*, valamint a szintén kábelben működő *mélységi folyadék mintavevő* készülékek stb.

A cementpalást tetejének meghatározására Magyarországon a hőmérséklet mérésen kívül *izotópos cementmérést* is végzünk különösen magas hőmérsékletű területeken. A közelmúltban készült el egy *forgópalástos radioaktív szonda* a cement minőségének vizsgálatára. Ezt az eljárást eredetileg a Szovjetunióban Baku környékén fejlesztették ki. Hátránya ennek a módszernek, hogy a cement izotópos szennyezését követeli meg. Ennek a hibának a kiküszöbölésére ugyancsak a Szovjetunióban dolgozták ki a három-, ill. négycsatornás *gamma-gamma cementmeghatározó műszereket*.

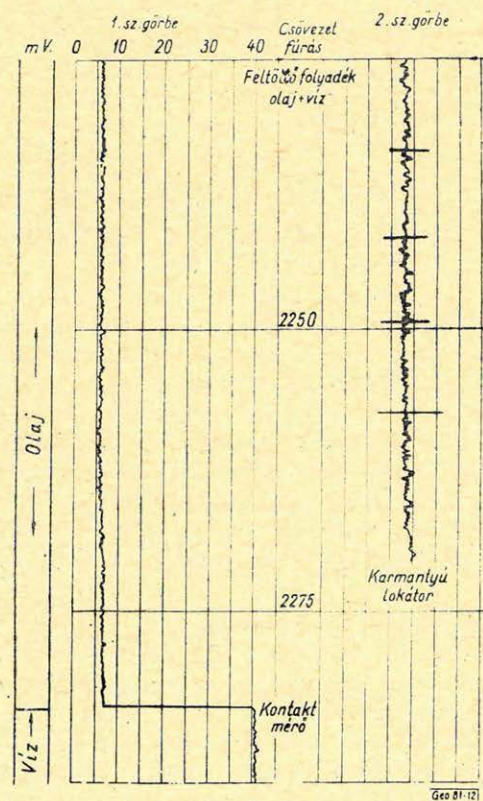


11. ábra. Hasadékindikáló szelvény

A fúrólyukak mélységének növekedése a perforálások pontosságát követeli meg. E célra Magyarországon permanens mágnessel működő lokátort fejlesztettek ki, amely egyaránt alkalmas radioaktív szondával, illetve perforátorral történő együttes üzemeltetésre.

A szabadpont lokátorok a fúrás egyik régi problémáján kívánnak segíteni. Fúrás közben több ízben előfordul, hogy rétegomlások stb. következtében a fúrórudazat megszorul. Ennek helyét korábban a rudazat-oszlop ismert erővel történő meghúzásával és a meghúzás eredményeként létrejött nyúlás megméréseivel számítások útján határozták meg. A rudazat rugalmassági együtthatóinak nem kellő ismerete nagy pontatlanságot vitt a mérés eredményébe, ami gátolta a mentési munkálatokat. Jelenleg ún. szabadpontlokátorokat alkalmaznak a szorulás helyének pontos meghatározására. Ezeknek a készülékeknek a lényege a következő: Egy szonda alsó, ill. felső részébe erős elektromágneseket szerelnek. A szondát lebecsátva a feltételezett szorulási hely fölé az elektromágneseket működésbe hozva, a szondát ráerősítik a rudazatra, majd a rudazatot meghúzzák (vagy megcsavarják). Ha a szonda a megszorulás helye fölött helyezkedik el, úgy a szondával érzékelhető a rudazat megnyúlása (ill. elcsavarodása). Ilyen módon gyakorlatilag tetszőleges pontosság érhető el.

Jelenleg Magyarországon is folynak kísérletek a rudazat szorulási helyének kimutatására.



12. ábra. Olaj-víz határ meghatározása

Eredeti megoldás született az olajiparban a termelő területek kútjaiban történő *olaj-víz határ meghatározására*. Külföldön különböző kémiai anyagokkal kísérleteznek, amelyeket a fúrólyukba drótkötéllal leeresztve a vizes zónában oldódást idéznek elő. Ezen módszer igen körülményes és használatához szükséges az olaj-víz határ helyének előzetes ismerete. Az új eljárást — amellyel készült szelvényt a 12. ábra mutatja be — alkalmazni lehet az olaj-víz határ helyének ismerete nélkül, és nem zavarják az olajtestben levő vízdugók sem.

Nem lenne teljes a technikai célú műveletek áttekintése a *rétegmegnyitási módszerek* ismertetése nélkül. Perforálási munkák szerkezetében az elmúlt 15 év világszerte jelentős változást hozott. Míg korábban kizárólag golyós perforálást használtak, addig ma egyes államok kivételével (pl. Románia) döntő túlsúlyba került a *jet perforálás*. Magyarországon 1955-ben a perforálások 96,8%-át golyós puskával végezték, 1961-ben pedig 96,1%-ban már jet perforálást alkalmaztak. Ezt a perforálási módot, amely jelenleg legkorsze-

rűbbnek mondható, több variánsban alkalmazzák. A régebbi és elterjedtebben használt az *acéltestű perforátor*. Az utóbbi években alakult ki a *megsemmisítő perforátorok* családja, s ennek fontos csoportját képező *fűzér-jet*. Jelenleg is folyik a jet perforátorok tökéletesítése úgy Magyarországon, mint külföldön. A hazai fejlesztés fő iránya a hőmérséklet-tűrés fokozását célozza, de kísérletet végeztünk kettős kúpok alkalmazására, valamint különböző töltet-házak és töltetburkolatok kialakítására is.

Az *oldalmagszedés* alkalmazása terén az országban ellentétes kép alakult ki. A szénkutatásban rendszeresen alkalmazzák a maglövést, olajkutatás terén azonban az elmúlt 5 év alatt mindössze két esetben volt ilyen művelet. A Magyarországon gyártott oldalmagszedő 2000 m mélységig üzemel, nagyobb mélységekből adat nem áll rendelkezésre. Feltehető, hogy a jelenleg alkalmazott lőporok nagy mélységekben nem alkalmazhatók a magasabb hőmérséklet miatt.

A klasszikusnak mondható oldalmaglövők alkalmazása mellett új magvételi eljárás is kialakult — az *oldalmagfűrés*. Ezzel a módszerrel nagyobb biztonsággal és hatásfokkal lehet kemény kőzetekből magmintát biztosítani. Az első magfűró berendezés átmérője azonban túl nagy, így csak 9"-nál nagyobb átmérőjű fűrészekben alkalmazhatók.

A nyugati országokban erősen elterjedt a karottázs kábelben üzemeltethető *folyadékmintavevő* készülékek használata. Ez a készülék, amelynek olajipari gazdaságossága igen nagy, lényegesen több figyelmet érdemelne a műszaki fejlesztéssel foglalkozó szakemberek részéről, minthogy egy-egy kétes jelentőségű rétegből vett folyadék minta 40–80 ezer Ft értékű rétegvizsgálat megtakarítását tenné lehetővé, ami éves szinten az olajiparnál több millió forint megtakarítást eredményezne.

Az olajkutakban végzett *torpedózási műveletek* terén hazánkban jelentős elmaradás mutatkozik. A Szovjetunióban több évvel ezelőtt kikísérletezték és széles körben alkalmazzák a technikai és geológiai célú torpedózásokat. Példaként megemlíthető a *test nélküli torpedók* használata; ezek lehetőséget adnak olyan rétegek „megszólaltatására”, melyek a jelenleg használt eszközök mellett nem adnak beáramlást. Másik példaként megemlíthető a nagy folyadékvesztességgel jelentkező zónák likvidálása torpedózással.

A *második kérdéscsoport*, amely magában foglalja a nagy mélységű fúrások által felvetett műszerteknikai problémákat, igen sok szerteágazó kérdést tartalmaz, melyek közül itt csak a három legfontosabbal kívánunk foglalkozni. A második 5 éves terv szerint lemélyítésre kerül hazánkban az első 6000 m talpmélységű fűrés. Ez előreláthatólag 220–240 C° talphőmérsékletet jelent. Ilyen hőmérsékleten történő vizsgálatokra nem vagyunk felkészülve. A Magyarországon előíllított karottázskábelek hőfokhatára 200 C° alatt van. Jelenleg a francia gyártmányú kábelek is csak 180–200 C°-ig dolgoznak.

Folyamatban van fluorozott szigetelésű *hőálló kábelek* beszerzése. Magyarországon gyártott lyukműszerek hőtűrése kicsi, így lyukműszereink közül a szovjet importból beszerzett IT–200 típusú ferdeségmérő szonda és a TRK típusú radioaktív szonda alkalmas 200 C°-on való üzemelésre. Egyedül a perforálási eszközök terén biztosabb a helyzet, mert itt a hazai fejlesztési munka eredményeként a jövő év végére várhatóan rendelkezésünkre fog állni komplett 240 C°-ig dolgozó robbanólánc.

A fúrólyukak hőmérsékletének növekedésével a hőmérséklet mellett növekszik a nyomás is. Ennek ellensúlyozására ki kell fejleszteni *nyomásálló szon-*

dahizakat és megbízható tömítéseket, amelyek üzembiztosan dolgoznak 1000–1400 atm. nyomásig. Sajnos a hazai előállítású műszerek nyomásállósága lényegesen kisebb.

A fúrási technológia korszerűsödése és a mélység növekedése egyaránt a lyukátmérők csökkenését eredményezik. Ezért fontos feladat már ma a *kisítmérőjű műszerek* családjának kifejlesztése. Várható, hogy a harmadik ötéves terv elején bevezetésre kerülnek a 2000 m talpmélységű, 2 1/2" átmérőjű slimehole fúrárok. Ezeknek a szelvényezéséhez maximálisan 40 mm átmérőjű lyukműszerek szükségesek. Ezeknél is nagyobb problémát jelent majd a nagymélységű fúrárok alsó szakaszainak szelvényezése, minthogy itt a szűk szelvényen kívül jelentkeznek a nagymélységből adódó más problémák is. A Szovjetunióban, az Egyesült Államokban intenzíven folyik az ilyen lyukműszerek kialakítása, melynek eredményeit jelzik a 35 mm átmérőjű (nem nagy hőállóságú) szovjet radioaktív szondák, a 40 mm-es amerikai ferdeségmérő és a még ennél is kisebb átmérőjű perforátorok stb. A teljesség kedvéért jegyezzük meg, hogy hazánkban is vannak ezen a területen eredmények.

Harmadik kérdéscsoport, amellyel foglalkozni kívánunk, a karottázs szelvényezés termelékenységevel összefüggő műszer és módszer fejlesztés problémáit foglalja magában. Ez feltétlen követelménye minden műszaki fejlesztési munkának, minthogy igen nagy gazdasági jelentőségű kérdés. Pl.: csak a magyar olajiparban az 1963. évben több mint 4 millió méter karottázs szelvény készült.

A munkatermelékenység növelésének több útja van, melyek közül csak a fontosabbakról kívánunk beszélni.

Első helyen a korszerűbb szelvényezési eljárások bevezetésének szükségeséről kell beszélni. Itt nem egyszerűen arról van szó, hogy pl. a Geiger Müller csöves radioaktív szelvényezés helyett a szcintillációs eljárásokat kell alkalmazni, bár ez is komoly fejlődést jelentene, hanem arról, hogy a jelenleg alkalmazott BKZ szondázás helyett pl. *laterolog-szónikus-radioaktív* kombinációt kell alkalmazni a CH tároló rétegek kimutatására. Ezen a téren még nagy lehetőségeink vannak, minthogy el vagyunk maradva a világ színvonalától. Kormányzatunk jelentős erőfeszítést tesz a korszerű műszerpark biztosítására. Azonban nem oldhatjuk meg feladatainkat kizárólag import műszerekkel. Fokozott erőfeszítéseket kell tennünk a fejlesztési munkák meggyorsítására.

Fontos kérdés a termelékenység növelésének területén a mérések párhuzamosításának a kérdése. A jelenleg Magyarországon alkalmazott karottázs berendezések egyidőben maximálisan 3 paraméter regisztrálását teszik lehetővé. (Pl. 2 ells+PS, vagy 2 mikroells és lyukbőség). Világszerte erőteljesen foglalkoznak a 4–8 mérőcsatornás berendezések kialakításával, illetve azok alkalmazásával. E téren két fő fejlesztési irány jelentkezik. Az egyik *egy eres pínccélkibelt* vesz alapul, míg a másik a több, általában a héteres kábelek használatára támaszkodik.

A fejlődés jelenlegi szakaszán a *többeres* karottázs kábellel dolgozó sokcsatornás berendezéseket kell perspektivikusabbnak tekinteni, minthogy ezek viszonylag kevesebb elektronikus alkatrész tartalmazó lyukműszereket követelnek meg, ami enyhíti a hőmérséklet és a kis átmérő miatti gondokat. Ilyen irányzat alapján készült a VNII geofizikában az AKSZ-4 típusú berendezés, az amerikai Schlumberger és PGAC berendezés, és ilyen alapon történik a Gamma Műveknél az *új magyar karottázs berendezés* kialakítása is.

Ez a berendezés, mely héteres kábel használatára épül, lehetőséget fog nyújtani egyidejűleg négy ellenállásgörbe és a PS szelvény regisztrálására két különböző tápáramfrekvencia felhasználásával. Fontos lépést jelent a korszerűség felé az a körülmény, hogy pulzátor helyett sinus jel alakú áramot használ. A berendezés lehetővé teszi különböző mélységléptékek egyidejű használatát, ami szintén növeli a berendezés termelékenységet.

Elképzelhető karottázs berendezés 7-nél több erű kábellel is.

Jelenleg is léteznek berendezések, melyek *nagy érszámú kábelt* használnak fel. Ilyen pl. a nyugatnémet gyártmányú *lyuktelevíziós készülék*, amely 35 eres kábellel üzemel. Jóllehet itt a nagy érszám más rendeltetésű és a műszer mélységkapacitása a kábel miatt csak 400 m, azonban rámutat a pl. 13-eres kábelek megvalósításának lehetőségére.

Nem elegendő azonban többcsatornás berendezésekről gondoskodni, azok kellő kihasználtsága érdekében létre kell hozni olyan *komplex lyukműszereket*, amelyek biztosítják egyidejűleg több különböző paraméter regisztrálását. Ilyenek pl. a nyugaton kialakított és Magyarországon is megvalósított iszapellenállás-lyukbőség mikroellenállásmérő komplex szonda, vagy az ugyancsak nyugati laterologultraszónikus komplex lyukműszer vagy a Szovjetunióban kidolgozott ún. „karottázs kombajn”, amely iszapellenállás mérőt, lyukbőség mérőt, mikroszondát és iszaplepleny vastagság detektort tartalmaz.

A fentiekén kívül szükség lenne pl. olyan lyukműszerre, amely a két ellenállásgörbén és a PS-en kívül lyukferdeségmérést tenne lehetővé. Nem érdemes a szükséges kombinációk felsorolását tovább folytatni, mert a fent elmondottakból is kitűnnek a lehetséges fejlesztési irányok és feladatok.

A párhuzamos méréseken kívül további nagy lehetőségeket ígér a termelékenység növelésében a *regisztrálási sebességek növelése*. A sokéves tapasztalat azt mutatja, hogy 6000 m/óra húzatási sebesség megvalósítható a balesetveszély növelése nélkül. A jelenlegi regisztrálási sebességek ennek általában csak tört részét teszik ki. Gondoljunk itt pl. a nagy felbontóképeségű szelvényekre. Ennek alapvető oka abban keresendő, hogy a jelenleg alkalmazott regisztráló berendezések időtehetetlensége nagy. Fontos feladat tehát a kis tehetetlenségű regisztrátorok kidolgozása. Ilyen irányú kísérletnek kell tekinteni a fotoregisztrátor helyett kidolgozott önirókat is, melyek dinamikája valamivel jobb az előzőeknél, habár itt a főcél a regisztrátumok jobb vizuális megfigyelhetősége volt. A megoldást azonban a nem mechanikus (pl. katódsugárcsöves optikai vagy magnetofonos) regisztrátorokban kell keresni.

A regisztráló művek kialakításával is kapcsolatban levő igen fontos kérdés-csoport a karottázs szelvényértelmezés gépesítésének kérdése. A korszerű gépi számolástechnika, az elektronikus számítógépek alkalmazása lehetőséget nyújt a karottázs szelvények interpretációjának gépesítéséhez.

A Szovjetunióban az 50-es évek végén kezdték el a gépi interpretáció kidolgozását. Ezy „Ural” típusú számológép felhasználásával BKZ görbéket interpretáltak úgy, hogy a gépbe betáplálták a leolvasott látszólagos ellenállásértékeket és a gép végezte el az ellenállásértékek meghatározását. Azóta az ilyen irányú munka fokozódott. Jelenleg laboratóriumi fejlesztési stádiumban van egy olyan műszer, amely a vizuálisan leolvasható karottázs szelvényeken kívül magnetofon-szalagos regisztrátumot is szolgáltat. A műszer felépítése olyan, hogy a magnetofon-szalagon a görbe kettes számrendszerben digitalizált értékeit rögzítik, amely alkalmas további átalakítás nélkül gépi feldolgo-

zásra. Az USA-ban is folynak fejlesztési munkálatok ilyen műszerek kidolgozására, bár az erre vonatkozó irodalom úgyszólván teljesen hiányzik.

Az előadás első részében már említett hazai fejlesztésű scintillációs radioaktív szonda is lehetővé tesz magnetofonos regisztrálást, és egy hozzá szintén tervezés alatt álló adapter digitális feldolgozást is lehetővé tesz.

A fenti rövid áttekintésből látható, hogy karottázs műszer és módszer kutatás terén óriási feladatok és lehetőségek vannak, pedig csak néhány szempontot ragadtunk ki a témák közül (pl. nem beszéltünk a kábelnélküli információközlés kérdéséről stb.).

Reméljük, hogy a magyar geofizika rövid idő alatt komoly eredményeket ér el e feladatok megoldásával.

IRODALOM

Dahnov: Promiszlavaja geofizika. Moszkva, 1959.

Doll: The S. P. Log: Theoretical Analysis and Principles of Interpretation. Trans. AIME, 179, 1948.

Doll: The S. P. Log in Shaly Sands Trans. AIME 189. (1950).

Pirson: Formation Evaluation by Log Interpretation. World Oil, Apr., May, Jun. 1957.

Schlumberger: Well Surveying Corporation. Houston, Texas, Log Interpretation Charts, 1957 – 1958.

Review of Schlumberger Well Logging and auxiliari Methods, Paris.

Tixier: Electric Log Analysis in the Rocky Mountains, The Oil and Gas Journal, Jun. 23. 1949.

Tixier – Goudouin – Simard: An Experimental Study on the Influence of the Chemical Composition of Elektrolites on the SP Curve. Journal of Petroleum Technology, Feb. 1957.

Sz. G. Komarov: Szpravocsnik Geofizika Tom II. Gosztoptyehizdat 1961.

F. A. Alekszejev: Radiometricseszkij metod poizskov nyefti i gaza (o prirode radiometrihcseszkij i radiogeohimicseszkij anomálj v rajone nyeftjánüh i gazovüh mesztorozsdenij) 1959.

Leipunszkaja: Spektrálaktivációs karottázs üledékes kőzetekben. Jagyernaja geofizika 1962. (oroszul)

R. P. Alger és munkatársa: Formation Density Log Applications in liquid-Filled Holes. Journal of Petroleum Technology, March. 1963.

M. P. Tixier: Modern Log Analysis. Journal of Petroleum Technology December 1962.

R. L. Caldwell: Using Nuclear Methods in Oil Well Logging Nucleonics December 1958.

J. Titmann, W. B. Nelligen: Laboratory Studies of a Pulsed Neutron-Source R. Technique in Well Logging. Journal of Petroleum Technology. July. 1960.

A. H. Joumans (és társai): Neutron Lifetime, a New Nuclear Log. Journal of Petroleum Technology. March. 1964.

M. R. J. Wyllie: The Fundamentals of Well Log Interpretation III. New York and London 1963.

Az 1964. évi, Tiszakécske — Lakitelek között végzett geotermikus mérések*

HARTNER MIHÁLY — Dr. STEINER FERENC

A dolgozat az 1964. évi Tiszakécske-Lakitelek térségében végzett geotermikus mérésekkel foglalkozik, melyek a környezet hőfokgradiens értékeit többszörösen meghaladó termikus anomáliát mutattak ki. A mérési eljárás vázlatos ismertetése után bemutatjuk a terület hőfokgradiens- és (15,5 °C-hoz tartozó) izoterma-térképet (2. és 3. ábra). A továbbiakban a termikus mérési anyag részletes feldolgozása útján nyert hmc-ágyag hővezetőképességarány-térkép (4. ábra) diszkussziója arra vezet, hogy a hővezetőképesség terepi vagy in situ-meghaározásainak a geotermikus terepmunka szerves részévé kell válnia. — A dolgozat befejező része a gyakorlati megoldás lehetőségét tárgyalja.

В работе излагаются геотермические измерения, проведенные в 1964 г. в районе Тискече—Лакителек, в результате которых была выявлена аномалия с величиной, многократно превышающей величины термического градиента окружающего района. После схематического описания методики измерений, приводятся карта термического градиента и изотермальная карта (для величины 15,5 °C) (фиг. 2 и 3). В дальнейшем, рассмотрение карты отношения теплопроводности песков и глин (фиг. 4), полученной их в результате детальной обработки материалов, приводит авторов к заключению о том, что определение величины теплопроводности горных пород в полевых условиях или в естественном залегании, должно представлять собой органическую часть полевых работ по геотермическому методу. В заключении рассматриваются возможности практического решения вопроса.

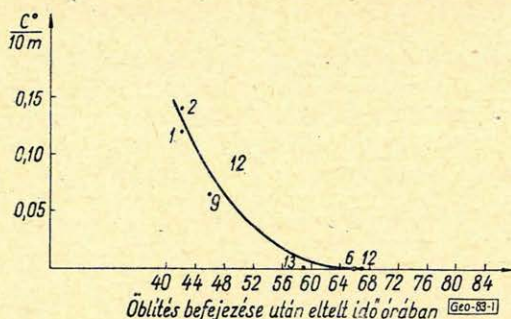
Die Abhandlung beschäftigt sich mit den im Raume Tiszakécske — Lakitelek im Jahre 1964 ausgeführten geothermischen Messungen, welche eine die Werte des geothermischen Gradienten der Umgebung vielfach überragende Anomalie Leweisen. Nach kurzer Darstellung des Messverfahrens wird die Temperaturgradientenkarte und die auf die Temperatur 15,5 °C bezügliche Isothermenkarte (Fig. 2. und 3.) angegeben. In den folgenden führt die Diskussion der Karte des Wärmeleitfähigkeitsverhältnisses (Fig. 4) dazu, dass die Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit im Felde oder in situ zum wesentlichen Teil der Feldarbeit werden soll. Der letzte Teil der Arbeit behandelt die Möglichkeit der praktischen Lösung der Aufgabe.

Az Országos Műszaki Fejlesztési Bizottság széles körű kooperációt szervezett hőenergia-hasznosítást célzó termikus kutatások végzésére, Dr. Scheffer Viktor, mint szakértő vezetésével. A miskolci Nehézipari Műszaki Egyetem Geofizikai Tanszéke a hőfokgradiens mérési eljárás kidolgozására, az alkalmazandó terepműszerek elkészítésére, a terepmérések elvégzésére és feldolgozására kapott megbízást. Jelen dolgozat a Geofizikai Tanszék Dr. Csikás János irányításával végzett méréseinek eredményeit ismerteti.

Méréseinket túlnyomóan ellenálláshőmérőszondával, alárendeltebben nagy nyomás maximumhőmérőszondával végeztük. Utóbbi elsősorban az ellenállás-szonda hitelesítésére, másodsorban a hőmérséklet abszolút értékének helyenkénti ellenőrzésére szolgált. Az alkalmazott ellenálláshőmérővel történő mérés pontossága néhány század fok.

A geotermikus vizsgálatok 50 m körüli talpmélységű lyukakban történtek. A méréseket, amennyiben egyéb technikai akadály, pl. a lyuk beduzzadása nem gátolta, 20–50 m között végeztük 5 m-ként.

* Jelen dolgozat a Magyarhoni Földtani Társulat Borsodi Csoportja, valamint a Magyar Geofizikusok Egyesülete Alföldi Csoportja által, 1964. november 12-én rendezett előadói ülésén került előadásra.



1. ábra. Korrelációs görbe a lyukállás
figyelembevételére

kevesebbet vártunk 66 óránál. Korrekciós görbénket az 1. ábra szemlélteti. A pontok mellé írt számok azokat a fúrásokat jelentik, amelyek mentén különböző időpontokban végzett mérések a korrekciós görbe szerkesztésének alapjául szolgáltak. A korrekciós görbe úgy nyer alkalmazást, hogy a megfelelő abszcisszához tartozó értéket hozzáadjuk a mért hőfokgradiens-értékhez. Amint látható, 42 óránál rövidebb várakozási idő a korrekció nagysága miatt nem engedhető meg. A korrekciós görbe csak a vizsgált területre érvényes.

Az eddigiekben vázolt módszerkialakítási munkák után indult meg a rutinszerű geotermikus terepmérés, melynél Góri Árpád és Majoros László, a NME Fizikai Tanszék adjunktusai észlelőkként működtek közre. A rendelkezésünkre bocsátott fúrásokat, az először telepítettek kivételével, már méréseink nyers eredményei alapján tűzte ki az OMFB által kijelölt szakértő. A hőfokgradiens értékeket a 30 és 50 m-ben mért hőfokértékek különbsége alapján képeztük. (A 20 m-ben mért hőfokadat néhány század fok erejéig az évi ingadozás hatásával terhelt lehet.) A hőfokgradiens általunk használt egysége: $C^\circ/10\text{ m}$. A lyuk esetleges nem teljes hőegyensúlyba állását a már vázolt módon vettük korrekcióba. — Ahol a 30–50 m-re vonatkozó érték nem volt képezhető, a rendelkezésre álló egyéb adatokra támaszkodtunk. Ezek a fúrások: 14, 16, 21, 23, 31, 52 és 53.

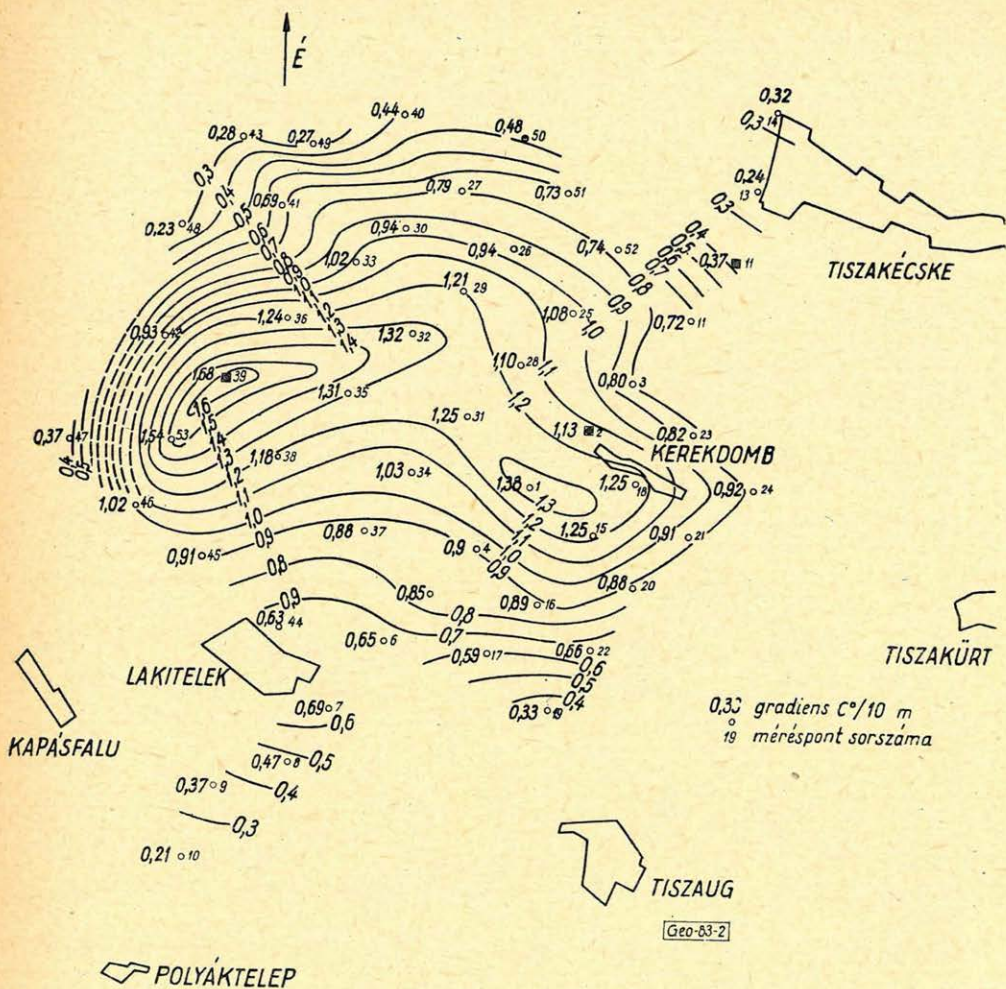
Az eredményeket térképen mutatjuk be (2. ábra). A hőfokgradiens-izovalákat $0,1\text{ C}^\circ/10\text{ m}$ -ként tüntettük fel. A fúrások zömében végzett mérések nemcsak a világátlagot, hanem a magyar átlagot is jelentősen meghaladó hőfokgradienst szolgáltatottak. A $0,5\text{ C}^\circ/10\text{ m}$ -es hozzávetőleges magyar átlagot 18 fúrás hőfokgradiense kétszeresen vagy annál nagyobb mértékben haladta meg. A területen észlelt maximális hőfokgradiens-érték $1,68\text{ C}^\circ/10\text{ m}$.

Az anomália lehatárolása, bár nyugaton kevesebb ponttal, kielégítően sikerült. Kivételt képez a Tisza felőli oldal mely nem elég meggyőző, noha határozottan kisebb értékek szerepelnek itt, mint az anomália $1,2\text{ C}^\circ/10\text{ m}$ -es platóján.

Az eredményeket izoterma térkép alakjában is ábrázoltuk. Izoterma-felület olyan hőfokra határozható meg a legpontosabban, melyre nézve legkevesebb esetben van extrapolációra szükség. Így került sor a $15,5\text{ C}^\circ$ -hoz tartozó izoterma-felület megszerkesztésére (3. ábra).

Az izoterma-térkép alapján mód kínálkozik a termikus ható mélységének hozzávetőleges becslésére.

Terepi kísérletekkel meghatároztuk azt a minimális időtartamot, amelynek a fúrás befejezése után el kell telnie ahhoz, hogy a fúrólyuk a hőfokgradiens szempontjából már hőegyensúlyba jutottnak számítsen. Ez az időtartam mérési területünkön 66 óra. Mivel technikai okok minden esetben ezt a várakozási időt sem engedték meg, ezért kísérletileg korrekciós görbét határoztunk meg. Így az egyensúlyi állapotra vonatkoztathattuk méréseinket akkor is, ha



2. ábra. Hőfokgradiens térkép 30 – 50 m között

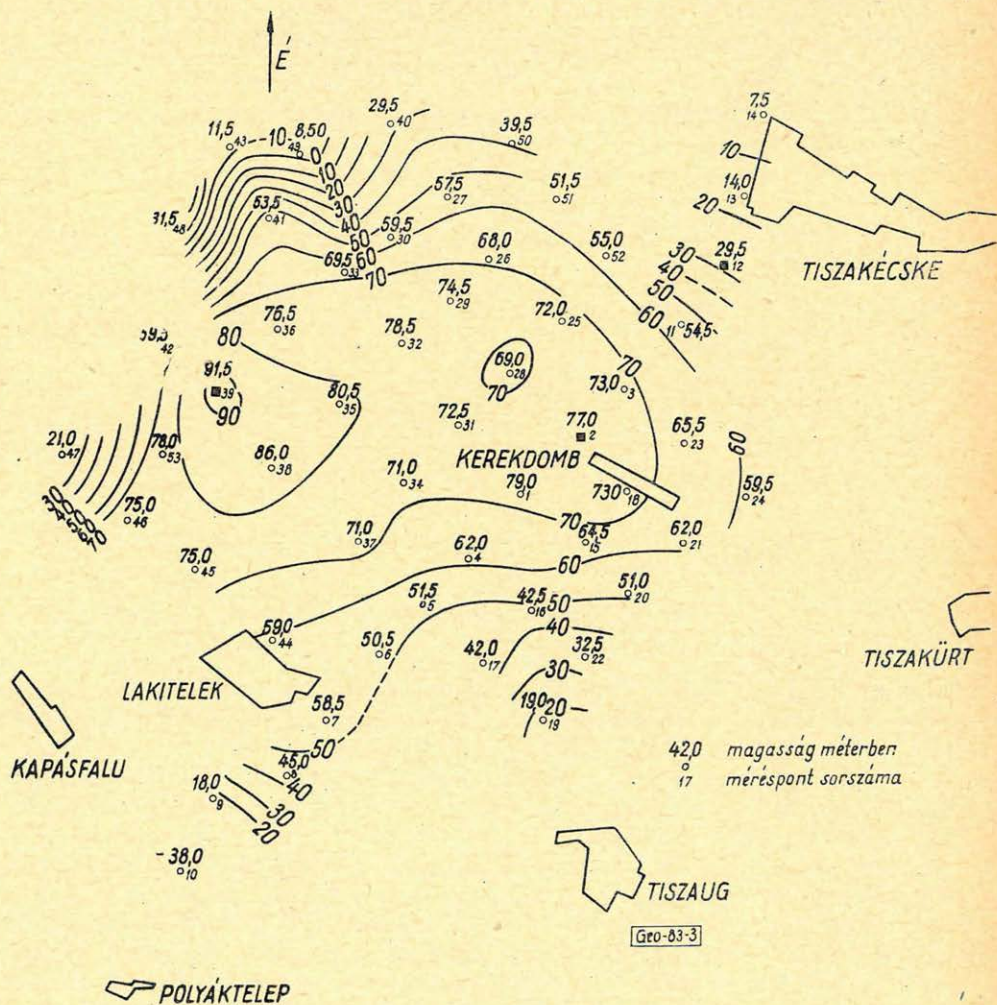
A részletek mellőzésével közöljük az eredményt: az anomáliát legmarkánsabban jelző északi izoterma-lejtő adatai alapján a mélybelinek feltételezett „ható” felszínének tetőzónája 1100 m-es mélységűnek adódott. (Ehhez a szinthez az anomália maximumán – lineáris extrapolációval – 150 C°-ú hőmérséklet tartozik.) A mélybeli termikus viszonyok tisztázása céljából tehát 1100 m-nél mélyebb fúrás szükséges.

Megjegyezzük, hogy az izoterma-térkép fenti alkalmazása és fontosságának elismerése mellett továbbra is a hőfokgradiens-adatokat tekintjük a geotermikus terepmunka legfontosabb kiinduló adatainak. A *termikusan anomálisnak* mutató terület meghatározása azonban csak akkor történhet megbízhatóbban, ha igen részletes hővezető-képességi adatrendszer áll rendelkezésre, azaz, ha izofluxus térkép szerkesztésére van mód. Elvileg lehetséges úi., hogy a hőfokgradiens-értékekben mutató anomália oka nem a mélyben keresendő,

hanem azoknak a rétegeknek a hővezetőképesség-változásaiban, amelyekben a hőfokgradiens-mérések történtek.

Méréseink ilyen jellegű vizsgálatokra közvetlenül nem adnak módot. Ha a terület minden fúrására nézve rendelkezésre állt volna elektromos karottázs mérésekből a rétegek valódi fajlagos ellenállása, kapcsolatot kereshettünk volna a rétegek elektromos- és hővezetőképessége között. Minthogy azonban csak néhány fúrásból voltak karottázs eredmények, erről le kellett mondanunk. A karottázs-szelvények csekély száma miatt csak kvalitatív megállapításra szorítkozhatunk: az „agyagok” eléggé eltérő ellenállásokkal jelentkeznek a karottázs-szelvényeken, s így feltehetően még az agyagok hővezetőképessége sem egységes. Termikus méréseink azonban lehetőséget adnak a homok és agyag *hővezetőképesség-arányának* területenkénti meghatározására.

Kiindulásunk alapja, hogy nagyobb hővezetőképességű rétegekben, ha a hőfluxus a lyuk mentén állandónak vehető, kisebb, és megfordítva, kisebb hőve-



3. ábra. 15,5 C°-hoz tartozó izoterma felület

zetőképeségű rétegekben nagyobb ΔT hőfokkülönbséget mérhetünk ugyanolyan hosszön. Ha ugyanannak a fúrólyuknak két, azonos hosszúságú, 1 ill. 2-es indexszel jelölt szakaszát tekintjük, mely csak agyagból és homokból áll, és meghatározzuk mindkét szakasz mentén a homok H_1 és H_2 , valamint az agyag A_1 és A_2 százalékos arányát, akkor a homok és agyag hővezetőképességének R aránya egy-egy szakasz végpontjain mért ΔT_1 , ΔT_2 hőmérsékletkülönbségekkel a következőképpen fejezhető ki:

$$R = \frac{A_1 \Delta T_1 - A_2 \Delta T_2}{H_2 \Delta T_2 - H_1 \Delta T_1} *$$

Nyilvánvaló, hogy ha csak homok, vagy csak agyag van mindkét szakaszban, a számolás nem végezhető el. Akkor sem adódik R -re reális eredmény, ha azonos, vagy közel azonos a két szakaszon a homok-agyag arány. Így érthető, hogy bár minden fúrásra, melyre földtani szelvény és a 30 és 50 m-es szintek között részletes termikus adatsor állt rendelkezésre, meghatároztuk a 10 és 5 m-es szomszédos szakaszpárokból R értékét, majd azok súlyozott közepét vettük, — mégis, mint azt az R -értékeket feltüntetető térkép (4. ábra) mutatja, egy sor fúrásra egyáltalában nem kaptunk adatot, s a kapott értékek is elég nagy szórást mutatnak. Áttekinthető képet csak akkor nyerünk, ha területi átlagokat képezünk, melyeket az illető területbe nagyobb méretű, körbe írt számokkal tüntettünk fel. (Az átlagképzésnél figyelembe vett, általában 3—4 pontot vékony vonallal kötöttük össze.)

Ismételten felhívjuk a figyelmet, hogy az R térkép a homok és agyag hővezetőképesség-arányának változásait mutatja, tehát, ha valamelyik a kettő közül viszonylag állandó, akkor a térkép a másik változásait tükrözi. A hővezetőképesség-értékek változását illetően a térképről a következőt olvashatjuk le: Ha a homok és agyag hővezetőképessége közül az egyik állandó, a másik legalább 40%-ban változik a területen.

Érdekes az R értékek területi eloszlása. Berajzoltuk azt a vonalat, amely R -nek 1,2 és annál nagyobb értékeit a kisebb R -értékektől választja el. Feltűnő, hogy a maximum tengelye egybeesik a másik két térkép (2. és 3. ábra) maximumtengelyével, meghosszabbítása ugyanúgy Tiszakürt-Cserkeszőlő felé mutat. Ez azért figyelemre méltó, mert a gradiens nagysága nem szerepel R -ben, sőt a hővezetőképességek abszolút értéke sem, csak az arányuk.

A fentiek arra utalnak, hogy esetünkben a geotermikus (hőfokgradiens és izoterma) anomália kialakulásában harántolt rétegek hővezetőképesség-változásainak is lehet szerepe. A részletekre nézve ugyanerre a következtetésre juthatunk, ha a 30—50 m közötti homok-agyag-arány eloszlását vizsgáljuk az anomália maximumán és annak keleti szélén: a 39. és 53. fúrások 30—50 m között kis homokvastagságúak, míg az északról, délről és keletről szomszédos fúrásokban lényegesen nagyobb a homok százalékos aránya. A keleti szegélyen a 20., 21. és 22. fúrásokban lényegesen nagyobb a homok százalékos aránya,

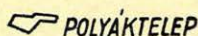
* Ez a közelítő formula a szabatos

$$R = \frac{H_2 \Delta T_1 - H_1 \Delta T_2}{A_1 \Delta T_2 - A_2 \Delta T_1}$$

formulával szemben azzal az előnnyel rendelkezik, hogy az $A \Delta T$ és $H \Delta T$ szorzatok lyukszakaszonként képezhetők, s így egy lyukszakasznak bármely más lyukszakasszal való párosításakor a már kiszámított szorzat helyettesíthető R képletébe.

A fenti megjegyzések csak részletekre vonatkoznak és nem érintik az általunk kimutatott termikus anomália egészének mélybeli, a harántolt rétegek alatti eredetét.

Ezek a megmondolások arra utalnak, hogy kisebb gradienst adó mélybeli hatók, melyek gazdasági jelentősége ettől függetlenül hasonló lehet, csak olyan kutató módszerrel mutathatók ki megbízhatóan, melynek szerves része a hővezetőképességek részletes vizsgálata. Ebből a szempontból figyelmet érdemel a 148.146 sz. magyar szabadalom. Az ebben leírt módszernek in situ mérésekre való kipróbálása céljából kísérleteket végeztünk homogén testen arra nézve, hogy az adódó hővezetőképesség függ-e a geometriai elrendezéstől. Ezek a méré-



4. ábra. $R = \frac{\text{homok hővezetőképessége}}{\text{agyag hővezetőképessége}}$ 30–50 m között

sek biztató eredményt szolgáltatottak. Ennek alapján a következő megállapításokat tehetjük:

1. Az említett szabadalom alapján alkalmazható olyan módszer, mely a fúrási magminták hővezetőképességének mérését még a terepen, maximálisan néhány órával a mintavétel után teszi lehetővé, amikor a szállítás és hosszú idejű tárolás miatt a mérés eredményeiben bizonytalanságok még nem jelentkeznek. A mérések kis költsége és gyorsasága egy komplett műszeregység alkalmazása esetén naponta minimum 10–20 minta hővezetőképességének meghatározását teszi lehetővé.

2. Elkészülhet egy olyan berendezés kísérleti példánya, mely laza üledékekbe mélyített sekélyfúrásokban in situ hővezetőképesség-méréseket is lehetővé tesz.

A hővezetőképesség részletes ismerete a geotermikus anomália-meghatározás megbízhatóságát, a kisebb abszolút értékű mélységi anomáliák esetén, nemcsak a már említett módon növelné, hanem lehetővé tenné a hőmérséklet-adatok lyukban ismert értékeinek az R meghatározásához hasonló részletes analízisével együtt, a mozgásban levő rétegvizek hőnyelő vagy hőközlő hatásának felismerését, esetleg kvantitatív figyelembevételét is a harántolt rétegekben.

A fenti dolgozatban azokat az eredményeket és következtetéseket ismertettük, melyek a mérések befejezése után egy hónappal az eddigi értelmezés alapján elmondhatók. Több részletkérdésre nem térünk ki (pl. arra, hogy a hőfokgradiens-térkép anomáliájának a valóságban kevésbé határozott lehatárolására Tiszakürt felé egyéb adatok is utalnak). Biztosra vesszük, hogy mérési eredményeink, különösen más geofizikai térképekkel összehasonlítva, a közölteken felüli következtetések levonására is módot adnak.

EGYESÜLETI HÍREK

Az 1964. év második félév eseményei (Budapest)*

1964. okt. 16.

Elnökségi ülés

- Napirend:
1. Beszámoló az előző ülések határozatainak végrehajtásáról.
 2. A X. Szimpózium értékelése.
 3. A vidéki helyi csoportok vezetőinek beszámolója az I. félévi munkáról.
 4. A II. félévi munkaterv jóváhagyása (Vidéki helyi csoportok és szakosztályok).
 5. Az 1965. évi munkaterv előkészítése az egyesületi irányelvek alapján.
 6. Bejelentések.

1964. dec. 11.

Ügyvezető elnökségi ülés

- Napirend:
1. Az 1965. évi munkaterv.
 2. Az 1965. évi pénzügyi terv.
 3. A Mecseki Csoport tisztújításának előkészítése.
 4. Az Alföldi Csoport tisztújításának előkészítése.
 5. A Nagykanizsai Csoport beszámolója.
 6. Bejelentések.

1964. nov. 26.

Központi előad ülés

Dr. Barta György: Observatóriumaink helyzete és fejlesztésének szükség-szerűsége.

Résztvevők száma: 17

Felszíni Geofizikai Szakosztály ülései

1964. nov. 19.

Rádlér Béla szakosztályi elnök: Ismerteti a szakosztály célkitűzéseit.

Baranyi István és Szabó János: „Egyenáramú és alacsony frekvenciás váltó-áramú kutatási módszerek földalatti alkalmazhatóságáról” tartottak előadást.

Résztvevők száma: 25

1964. dec. 3.

Meskó Attila: „Szűrőelmélet alkalmazása a gravitációs interpretációban.”
Farkas Zsuzsanna – Müller Pál – Steiner Gyula: Areo-radiometrikus berendezés mérés technikai problémái.

Résztvevők száma: 36

Mélyfúrás Geofizikai Szakosztály ülései

1964. nov. 12.

Dr. Sebestyén Károly szakosztályi elnök: Ismerteti a szakosztály célkitűzéseit.
Páris Györgyné – Páris György: „A gamma-spektrometria mélyfúrás alkalmazásának egyes kérdései” címmel tartottak előadást.

Felkért hozzászólók: *Dr. Tatár János (ELGI)*

Deres János (AKÜ Szolnok)

Résztvevők száma: 36

1964. dec. 17.

Czeplédi István egyesületi főtitkár: Ismerteti a Szakosztály 1965. évi munkatervét.

Barlai Zoltán: „Agyagos kifejlődésű szénhidrogén tároló kőzetek mennyiségi karottásvizsgálatának új módszere” címmel tartott előadást.

Felkért hozzászólók: *Fölsz Attila (OKGT)*

Suba Sándor (AKÜ Szolnok)

Résztvevők száma: 22

1964. dec. 17.

Tématerv vita (zártkörű).

Napirend: az É. M. Földmérő és Talajvizsgáló Vállalat jelentése a „Felszíni geofizikai módszer mélyenfekvő vízáldórétegek vizsgálatára”

Előadó: *Urhegyi László (ÉM. FTV)*

Opponensek: *Szabó János (Pécs)*

Egerszegi Pál (Miskolc)

* A vidéki eseményekről következő számunkban adunk tájékoztatást.

A magyar geofizika története

I. rész

A Magyar Geofizikusok Egyesülete elhatározta, hogy folyóiratában vázlatos áttekintésben közzéteszi a magyar geofizikai kutatások történeti fejlődését. Az Egyesületet ebben az a célkitűzés vezérelte, hogy a magyar geofizikai kutatások fejlődésének legfontosabb adatai összegyűjtve az érdeklődők rendelkezésére álljanak. Ez a közzététel az Egyesület megalakulásának 10-ik évfordulója alkalmából valósul meg és azért is időszerű, mert jelenleg még élnek olyan geofizikus munkatársak, akik mint Eötvös Loránd egykori tanítványai és munkatársai a magyar geofizikai kutatások hőskorának aktív közreműködői, illetőleg szemlélői voltak.

Az itt következő összeállítás a magyar geofizika fejlődését Eötvös haláláig foglalja magában és zömben Eötvös geofizikai munkásságának vázlatos ismertetését tartalmazza. A Magyar Geofizika későbbi számaiban kerül sor a történeti áttekintés időrendben következő szakaszaira.

A jelen összeállítás szerzői:

1/b *Buday Tibor*

1/a, 2, 3 *Renner János*

A magyar geofizika történeti áttekintésénél először is körül kell határolni, hogy az áttekintés milyen tudományágakra terjedjen ki. A Nemzetközi Geodéziai és Geofizikai Unió a következő tudományágakat sorolja a geofizika körébe: a gravitációt, a földmágnességet, az ionoszféra kutatást, a szeizmológiát, a Föld belsejének fizikáját, a meteorológiát, a hidrológiát, a vulkanológiát és az oceanográfiát. A felsorolt tudományágak közül a jelen áttekintésben figyelmen kívül hagyjuk a meteorológiát, a hidrológiát, a vulkanológiát és az oceanográfiát, viszont tekintetbe vesszük a gyakorlati célú geofizikai kutatásokat, mint alkalmazott tudományt.

A magyar geofizikai kutatások fejlődésében *Eötvös Loránd* munkássága mérföldkövet jelent. Ezért célszerű a magyar geofizika fejlődését a következő korszakokra osztani:

1. Geofizikai kutatások Eötvös előtt.
2. Eötvös geofizikai munkássága.
3. Egyéb geofizikai kutatások Eötvös idejében.
4. A magyar geofizika fejlődése Eötvös halála után a felszabadulásig.
5. A magyar geofizika fejlődése a felszabadulás után napjainkig.

1. Geofizikai kutatások Magyarországon Eötvös előtt

a) *Földmágneses mérések*

Régebben főként a földmágnesség területén folytak hazánkban kutatások. Van tudomásunk arról, hogy az 1781–1802. években a budai egyetemi obszervatóriumban történtek mágneses elhajlás mérések, a mérések eredményeit azonban a helyi vastömegek befolyásolták. Az észlelések adatai részben fennmaradtak az „Ephemerides Societatis Meteorologicae Palatinae Mannheimii”

című közleményekben. Ezen adatok szerint a nyugati elhajlás maximuma Budán kb. 1795-ben volt $16^{\circ}10'$ értékkel.

Rendszeres abszolút földmágneses méréseket a régi monarchia területén először *dr. Kreil Károly*, a prágai csillagvizsgáló- és később meteorológiai és földmágnességi intézet igazgatója végzett 1847 és 1857 között; ezekből a régi Magyarországra összesen 52 pont jutott. Kreil mérési eredményeit az 1850.0 időpontra redukálta és azokat közzé is tette.

Az első magyar kutató, aki rendszeres földmágneses méréseket végzett, *dr. Schenzl Guido*, a Magyar Tudományos Akadémia tagja volt. Schenzl még mint a budai reáliskola igazgatója a reáliskolában „*meteorológiai észleldét*” rendezett be s azt a Magyar Tudományos Akadémia 1863-ban mágneses műszerekkel látta el. E reáliskolai obszervatóriumból alakult 1870-ben az önálló *Meteorológiai és Földdelejtességi Központi Intézet*, amelynek első igazgatója Schenzl Guido volt. Schenzlnek nagy érdeme, hogy az 1864-től 1881-ig terjedő időben országos mágneses méréseket végzett, összesen 111 megfigyelési állomáson. Az észleléseket az 1875.0 időpontra redukálta. A csillagászati mérésekben részben *Kruspér István*, részben *Kondor Gusztáv* volt segítségére. Schenzl is észrevette észleléseinek feldolgozásakor, hogy az évszázados változás nem mindenütt egyenlő. Azt is észrevette, hogy egyes területeken jellegzetes mágneses helyi zavarok vannak; ilyen mágneses zavarokat talált Eger, Tokaj, Pétervárad környékén. Schenzl földmágneses munkásságának eredményeit a Természettudományi Társulat kiadásában megjelent nagyszabású művében tette közzé. Figyelemre méltó Schenzlnek „*Utmutatás a földmágnességi helymeghatározásokra*” című 1884-ben megjelent munkája is.

Ezután időrendben *Kurländer Ignác* földmágneses munkálatai következnek. Kurländer az 1892–94. években a régi Magyarországon 38 ponton határozta meg a földmágneses adatokat és azokat az 1890.0 időpontra redukálta. A régi monarchia területén ebben az időben *Liznar*, a bécsi Meteorológiai és Földmágnességi Intézet akkori adjunktusa végzett földmágneses méréseket és e mérések eredményeit 1895-ben megjelent kimerítő munkájában foglalta össze. Ez a munka Kurländer mérési eredményeit is tartalmazza, de azokat Kurländer maga is közzétette. Kurländer a régebbi mérések és saját mérései alapján a földmágnességi adatok évi változását is tanulmányozta és azt 1850–1875, 1875–1890 és 1850–1890 időközökre vonatkozólag összehasonlította. A magyarországi földmágneses kutatások történetében fontos esemény volt az ógyallai állandó földmágnességi obszervatórium felállítása. Az ógyallai obszervatórium létesítése *Konkoly Thege Miklós* nevéhez fűződik. Konkoly Thege Miklós, aki főként csillagászattal foglalkozott, ógyallai kastélyának parkjában 1874-ben kupolás csillagvizsgáló pavillonokat emeltetett és azokat műszerekkel szerelte fel. Schenzl említi nagy munkájában, hogy Ógyallán már 1873-ban voltak műszerek a mágneses elhajlás és a vízszintes térerősség mérésére. Konkoly Thege Miklós 1890-ben az Országos Meteorológiai és Földmágnességi Intézet igazgatója lett. Ebben a minőségében az ógyallai csillagvizsgáló obszervatóriumot meteorológiai és földmágnességi obszervatóriumná bővítette ki és egész ógyallai birtokát az államnak ajánlotta fel. Ógyallán 1893-tól kezdve a Budáról átvitt mágneses variációs műszereken naponta háromszor történt leolvasás. 1900-ban az ógyallai földmágneses obszervatórium fotografikus regisztrálással egészítette ki működését. Konkoly Thege Miklós igen szerencsés módon telepítette az állandó földmágneses obszervatóriumot Ógyallára, ahol a földmágneses mérések és regisztrálások nagyobb városoktól, ipari központoktól

távol, minden zavaró hatástól mentesen történhettek. Konkoly Thege, aki nagy kedvvel és hozzáértéssel foglalkozott csillagászati és egyéb műszerekkel, a földmágneses obszervatórium korszerű felszerelését is nagy gonddal irányította. Ebben a munkában két fiatal kutató, *dr. Steiner Lajos* és *Marczell György* volt segítségére, akiket szerencsés választással egy időre az ógyallai obszervatóriumba helyezett ki. Steiner Lajos 1893-tól 1897-ig, Marczell György 1894-től 1904-ig működött Ógyallán. Marczell György volt az obszervatórium első vezetője és különösen a műszerek gondozásával, javításával és korszerűsítésével tűnt ki. Steiner és Marczell együttes munkával szerelték fel teljesen korszerűen az obszervatóriumot az 1899–1900. években.

b) Nehézségi gyorsulás-mérések Budapesten

A nehézségi gyorsulás értékének meghatározására Budapesten 1885-ben, 1893-ban és 1908-ban végeztek méréseket. Az 1885-ben és az 1893-ban végrehajtott méréseket részletesen ismertetjük, mert a szakirodalom – néhány nehezen hozzáférhető publikációtól eltekintve – alig foglalkozik e kétségtől jelentős és nagy pontosságú mérésekkel. Az 1908-ban végzett relatív ingaméréseket a következő fejezetben tárgyaljuk.

Az 1885. év nyarán *Dr. Gruber Lajos*, a Központi Meteorológiai Intézet munkatársa végzett Budapesten *abszolút g* méréseket. Méréseinek eredményeit a Magyar Tudományos Akadémia kiadásában megjelent „Értekezések a matematikai tudományok köréből” című sorozat XIII. kötetének 1. számában publikálta „A földnehézség meghatározása Budapesten 1885-ben” címmel.

Dr. Gruber Lajos abszolút ingaméréseit Repsold-féle $3/4$ másodperces reverziós ingával végezte. Az inga sárgarézből, az élek achátból készültek és achátlapon lengtek. A sárgarézből való mérőrúd egyik végén két segédvonással ellátott 0 vonás, a másik végén pedig 557,9 mm-től 569,1 mm-ig terjedő beosztás volt. A mérőrúd hőmérsékletének mérésére Gruber fémtermométert használt. Az inga hőmérsékletének mérése higanyhőmérővel történt, amelyet Gruber publikációjában részletesen nem ismertet. Az észlelés folyamán Gruber a higany-hőmérőt a fémtermométerrel több ízben egyszerre olvasta le és így redukálta a lengés megfigyelése alatt leolvasott higany-hőmérő állásokat. A lengési időt a koincidencia módszerrel egy *Dent-féle* ingaórával mérte. A koincidencia óra járását minden egyes észlelési napra külön időmeghatározással vezette le, és pedig az *Ertel-teodolittal* megfigyelt meridián átmenetek alkalmazásával. Egy-egy időmeghatározás két sarkcsillag és öt-hat délcillag átmenetének megfigyeléséből állott.

Gruber az augusztus 9-től szeptember 11-ig tartó mérések alatt 8 észlelési napon át 32 egyszerű észlelést: éltávolságmérést és lengési idő meghatározást végzett szimmetriás időbeosztással. A mérések színhelye a Központi Meteorológiai Intézetnek – az ún. bécsi kapu területén felállított – faházikója volt. A hőmérsékletváltozások a faházikóban eléggé nagyok voltak, sokszor a reggel 7-től délután 2-ig terjedő idő alatt a 15°C -t is meghaladták. Gruber Lajos eredményei a következők; az észlelési helyen a másodperc inga hossza a mérőlépték $24,44^{\circ}\text{C}$ hőmérsékletén

$$L = 993,3133 \text{ mm},$$

s ha a függelékben közölt együttlengési redukciót

$$dL = + 0,0481 \text{ mm-t}$$

is tekintetbe vesszük

$$L = 993,3614 \text{ mm.}$$

A mérések befejezése után Gruber a műszer mérőrúdját elküldte Sévres-be, hogy a Bureau International des Poids et Mesures megállapítsa egyenletét.

A mérések eredményét Gruber már nem dolgozhatta fel, mert időközben meghalt. A Brueau International okmánya a Meteorológiai Intézet levéltárába került, amelynek alapján Oltay Károly a következőket állapítja meg:

A mérőrúd vizsgálatát univerzális komparátoron végezték vízszintes helyzetben. Az összehasonlításra egy bronzból s egy iridium-platinából való normál-métert használtak, amelyeknek egyenletei és osztási hibái ismeretesek voltak.

Az összehasonlítás végeredményeit 5 észlelési sorozatból vezették le. Az észlelési sorozatokban az átlagos hőmérséklet szélső értékei $+4,3^{\circ}\text{C}$ és $+19,4^{\circ}\text{C}$. A komparálások 1886. július 25-én kezdődtek és 1887. január 24-én fejeződtek be. Az eredményeket feltüntető „Certificat” 1887. június 10-én kelt.

A „Certificat” szerint a mérőrúd egyenlete a 0 és 560,00 mm vonások között a következők:

$$B = 559 \text{ mm } 979 \mu (1 + 0,000018242 t)$$

A B érték valószínű hibája $\pm 1 \mu$ alatt van.

A „Certificat” megadja az egyes osztási vonások hibáit 0° hőmérsékleten. Végül a fém-termométerre nézve a Certificat közli, hogy 1° hőmérsékletváltozásnak $7,5 \mu (\pm 0,2 \mu)$ eltolódás felel meg.

Fenti adatok segítségével a másodpercinga végleges hossza Gruber méréseiből a következőképpen vezethető le:

24,44° C-nál észlelt hossz	993,3614 mm
Redukció 0 fokra	+ 0,4458 mm
Redukció a mérőskála hibái miatt	- 0,0218 mm
A másodperc-inga hossza az észlelési helyen	993,7854 mm

Tehát a nehézségi gyorsulás

$$g = 980,827 \text{ cm/sec}^2$$

Fenti, abszolút mérésből származó g érték pontosságára vonatkozóan Gruber nem közöl részletes vizsgálatokat. Adataiból azonban a pontosságra nézve jól közelítő érték vezethető le. Gruber megadja a másodperc-inga hosszának középhibáját.

$$\mu_L = \pm 0,0012 \text{ mm}$$

értékkel. Ezt az értéket a négyféle felszerelésben észlelt nyolc meghatározás eredményeinek eltéréseiből vezeti le. Ez az érték jellemző a súlymeghatározás, a lengési idő mérés és az időmeghatározás hibáira. Nincs benne azonban a hőmérsékleti állandónak, az éltávolság-mérésnek s az együttlengés meghatározásának hibája.

Az éltávolság-mérés középhibája	\pm 0,0021 mm
A kompenzálás középhibája	\pm 0,0012 mm
Az együttlengés-mérés középhibája	\pm 0,0030 mm

Figyelembe véve a hibákat, a másodperc-inga előzőekben ismertetett értékének középhibáját

$$\pm 0,0040 \text{ mm-nek}$$

vehetjük, azaz a g érték középhibája:

$$\pm 0,0040 \text{ cm/sec}^2,$$

amely megfelel a g értéke $\pm 1/240000$ részének. Ebben az értékben azonban nincs benne a hőmérsékleti együttható meghatározásának hibájából származó hatás.

Az 1893. év nyarán a Katonai Földrajzi Intézet megbízásából *O. Krifka* százados végzett Budapesten relatív ingaméréseket, Sterneck-féle relatív ingakészülékkel, három inga ismételt észlelésével. A lengési idők levezetése koincidienciák észlelésével Nardin-féle kronométerrel történt. Az időmeghatározásokat egy 22 cm körű univerzális műszerrel napmagasságok mérésével *K. Koss* sorhajóhadnagy végezte.

O. Krifka relatív méréseinek kiinduló állomása Bécs volt, éspedig a Katonai Földrajzi Intézet ún. „Kellerpfeiler”-e.

A nehézségi gyorsulás értéke itt

$$980,876 \text{ cm/sec}^2.$$

Ezt az értéket *O. Krifka* az *Oppolzer* által a „Kaiserliche Sternwarte”-ben (bécsi csillagvizsgáló intézet) végzett abszolút meghatározásokból vezette le.

Budapesten az észlelések színhelye a Tudományegyetem Fizikai Intézetének a laboratórium alatti alagsori helyisége volt, amelyet *Eötvös Loránd* bocsátott az észlelők rendelkezésére. Az egyenletes hőmérsékletű helyiség az észlelésre kiválóan alkalmas volt. Az inga állványa a terepi állomásokon használt szállítható pillérre volt ráerősítve.

A mért lengési időket az amplitúdó, a hőmérséklet, a légsűrűség és az órájárás miatt szükséges redukciókkal számították át végtelen kis kilengésre, 0°C hőmérsékletre, egységsűrűségű levegőre és csillagidőre. Az alátámasztás együttlengését nem vették figyelembe.

A budapesti mérések előtt és után a bécsi kiinduló állomáson kétszer-kétszer történt lengésidő megfigyelés, s az invariabilitás feltétele a mérésekben kielégítést nyert.

A budapesti mérések 1893. június 22-én kezdődtek és június 25-én fejeződtek be. Ez idő alatt minden ingával 6 észlelés történt, tehát a végeredményül felhasznált lengési idő tizenhatszáz egyszerű meghatározásból származik.

A publikációból rendelkezésre álló adatokból nem lehet a pontosságra jellemző középhibát levezetni, mert hiányoznak az állandók hibáira és az időmeghatározások pontosságára vonatkozó adatok. A közölt g érték a bécsi rendszerre vonatkozik, mert *Oppolzer* abszolút mérése által megállapított g érték szolgált alapul. Ha a potsdami rendszerre akarjuk átszámítani, akkor $-0,016 \text{ cm/sec}^2$ korrekciót kell alkalmaznunk.

Ekkor $g = 980,844 \text{ cm/sec}^2$.

A Budapesten régebben végzett nehézségi gyorsulásmérések végeredményeit az *I. táblázat* mutatja. A táblázat feltünteti az észlelési helyre vonatkozó elméleti nehézségi gyorsulást (γ_0) is, amelyet a *Helmert*-féle képletből számítottak ki.

A különböző mérésekből származó nehézségi gyorsulás értékek különböző helyekre vonatkoznak s így összehasonlításuk szigorúan csak úgy történhetnék,

Állomás — Észlelő Dátum	A mérés típusa	Mért nehézség- gyorsulás g	Redukció a tenger- színtre	Nehézség- gyorsulás a tenger- színten g_0	Elméleti nehézség- gyorsulás a tengersz. γ_0	$g_0 - \gamma_0$
Meteorológiai Intézet Dr. Gruber Lajos 1885. aug. 9 – szept. 11.	Abszolút mérés Repsold-féle 3/4 mp-es re- verziós ingával	cm/sec ² 980,827	cm/sec ² + 0,047	cm/sec ² 980,874	cm/sec ² 980,845	cm/sec ² + 0,029
T. E. Fizikai Intézet O. Křifka 1893. márc. 6 – szept. 27.	Relatív mérés invariabilis in- gákkal vonat- koztatva Bécsre	980,860	+ 0,037	980,897	980,842	+ 0,055

2. táblázat

Állomás — Észlelő Dátum	A mérés típusa	Mért nehézség- gyorsulás g	Redukció a tenger- színtre	Nehézség- gyorsulás a tenger- színten g_0	Elméleti nehézség- gyorsulás a tengersz. γ_0	$g_0 - \gamma_0$
Meteorológiai Intézet Dr. Gruber Lajos 1885. aug. 9 – szept. 11.	Abszolút mérés Repsold-féle 3/4 mp-es re- verziós ingával	cm/sec ² 980,827	cm/sec ² + 0,047	cm/sec ² 980,874	cm/sec ² 980,845	cm/sec ² + 0,029
T. E. Fizikai Intézet O. Křifka 1893. márc. 6 – szept. 27.	Relatív mérés invariabilis in- gákkal vonat- koztatva Bécsre	980,844	+ 0,037	980,881	980,842	+ 0,039

ha az egyes állomásokat relatív mérésekkel összekötve egymással redukálnánk. Az összehasonlításra felhasználhatjuk az utolsó rovatban feltüntetett $g_0 - \gamma_0$ értékeket. Ezeket vizsgálva feltűnően nagy a bécsi rendszerből levezetett nehézségi gyorsulás érték eltérése az abszolút mérésekből és a potsdami rendszerből levezetett értékektől. Ez a nagy eltérés azonnal megszűnik, ha a Křifka-féle relatív meghatározást a potsdami rendszerre vonatkoztatjuk (2. táblázat).

A 2. táblázat mutatja, hogy a három $g_0 - \gamma_0$ között már lényegesen kisebbek az eltérések. Ha a három $g_0 - \gamma_0$ számtani közepét vesszük, ami

$$+ 0,037 \text{ cm/sec}^2$$

akkor az érték középhibája

$$\pm 0,004 \text{ cm/sec}^2$$

vagyis a g értékének $\pm 1/240000$ -ed része.

Eötvös Loránd (1848–1919) tudományos kutatásai nem a geofizika területén indultak meg. Eötvös fiatal éveiben a klasszikus fizika többféle problémájával foglalkozott és a folyadékok feszültségének vizsgálatában ért el nagy jelentőségű eredményeket. Figyelme azonban már az 1880-as években a nehézségi erőter vizsgálatára fordult, ekkor került kapcsolatba a geofizika problémáival. Mint kísérleti fizikus először azt vette számba, hogy a nehézségi erőter vizsgálatában milyen műszerek állnak rendelkezésre. A nehézségi gyorsulást, vagyis az erőter intenzitását már régóta súlyos ingával mérték, viszonylag kicsi pontossággal. Eötvös világosan felismerte, hogy a hagyományosan használt műszerek és módszerek a nehézségi erőter tüzetes megvizsgálására nem alkalmasak. Ezért mint kísérletező fizikus elsősorban arra törekedett, hogy vizsgálataira alkalmas műszert gondoljon ki és valósítsa meg. Ez a műszer a *torziós inga*, amelyet mint Coulomb-mérleget a fizikusok kicsi erők mérésére addig is alkalmaztak. A hagyományos Coulomb-mérleg Eötvös céljaira nem volt megfelelő. Eötvösnek első dolga az volt, hogy sokkalta érzékenyebb műszerré fejlessze ki.

Csekélynek látszó módosítás, de hatásában nagy jelentőségű volt az, hogy Eötvös az ingarúd egyik terhelő tömegét mélyebbre függesztette. Ezzel a torziós ingát a nehézségi erőternek majdnem minden jellemző adata mérésére alkalmassá tette. Az így kialakult műszertípus – Eötvös elnevezésével a *horizontális variométer* – vált *Eötvös-inga* néven világszerte ismeretessé. Eötvös a torziós ingát olyan érzékennyé tette, hogy a nehézségi erőter változásai magának a műszernek néhány dm³-nyi terében mérhetőkké váltak. Csupán a térerősségnek a függőlegesen való változását nem tudta elvi okokból műszerével megmérni.

Eötvös elméleti számítással megállapította, hogy a torziós ingarúd egyensúlyi helyzetét öt egymáshoz képest szimmetrikus azimutállásban kell megfigyelni s e megfigyelési adatokból a nehézségi erőter térbeli változását jellemző mennyiségek kiszámíthatók. Eötvös később két torziós ingát helyezett el egymás mellett, egymással párhuzamosan, de a mélyebben felfüggesztett tömegekkel ellenkező oldalon s ezzel a *kettős torziós ingával* három szimmetrikus azimutállásban végzett leolvasások elegendőnek bizonyultak az erőter térbeli változásainak meghatározására.

Mivel Eötvös a torziós ingával nemcsak a laboratóriumban, hanem a szabadban is kívánt mérni, terepmérésekre is alkalmassá kellett tennie, tehát úgy tervezte meg, hogy viszonylag könnyen szállítható legyen és az időjárás viszonyosságai között, különösen gyors hőmérsékletváltozásokkal szemben is ellenálló legyen. Mindezt Eötvös fokozatosan érte el. Nagy gondot fordított olyan felfüggesztő torziós szálak készítésére, amelyek kellő érzékenység mellett egyensúlyi helyzetüket hőmérsékletváltozáskor is stabilisan megtartják. A torziós inga fejlődése nagy utat tett meg az első laboratóriumi típustól a terepen is jól használható, könnyen kezelhető és szállítható műszerig. Eötvös először pest-lőrinci kertjében végzett szabadban méréseket s ott azt is vizsgálta, hogy a közvetlen környezet talajjegyvetlenségei milyen befolyással vannak a műszerrel mért adatokra. Igazi terepi mérést Eötvös a Celldömölk melletti, akkor még érintetlen, szabályos kúpalakú, bazaltból álló Sághegy tetején végzett 1891-ben. A torziós ingarúd egyensúlyi helyzetének megfigyelése vizuálisan, leolvasó távcsővel történt; a távcső és a skálaosztás külön állványra volt szerelve és a

műszer különböző azimutállásaiban mindig újra kellett elhelyezni, ami a megfigyeléseket körülményessé tette. A Sághegyen végzett mérésekben Eötvös munkatársai voltak: *Bodola Lajos, Kövesligethy Radó és Tangl Károly*.

Eötvös torziós ingájának további fejlődése abban állott, hogy a leolvasó távcsövet és a skálaosztást egybeépítette a műszerházzal s így a műszernek a függőleges tengely körüli forgatásakor a távcső együtt forgott a műszerházzal s azzal együtt a torziós ingarúddal. Később a műszerhez könnyen kezelhető, az ingarudat rögzítő-kioldó berendezés is készült s ez is megkönnyítette a terepi munkálatokat. 1898-ban készült az első olyan torziós inga, amely a terepi viszonyokhoz volt alkalmazva, de csak egy ingarúddal. Ez a műszer egyidejűleg két példányban készült el; az egyik példány 1900-ban a párizsi világkiállításon volt kiállítva, a másikkal végezte el Eötvös munkatársaival együtt *klasszikus méréseit a Balaton jegén 1901 és 1903 telén*. Az első *kettős horizontális variométer* 1902-ből való. A lengő ingarúdnak kívülről végezhető rögzítését és kioldását Eötvös első ízben 1907-ben alkalmazta. Az ingarúd hossza többnyire 40 cm volt. 1908-ban szerkesztett Eötvös egy jóval kisebb méretű kettős műszert 20 cm hosszú ingarudakkal.

Ez a vázlatos felsorolás is szemlélteti, hogy Eötvös nemcsak megszerkesztette torziós ingáját, hanem szüntelenül azon fáradozott, hogy azt minél jobban tökéletesítse és terepi munkálatokra minden tekintetben alkalmassá tegye.

Eötvös olyan torziós ingákat is szerkesztett, amelyeket nem terepi mérésekre szánt, hanem azokkal laboratóriumában fontos elvi kérdéseket kívánt megvizsgálni. Ezek a műszerek és a velük végzett tudományos vizsgálatok igen nagy jelentőségűek, de távolabb állnak Eötvösnek, mint geofizikusnak a tevékenységétől.

Lássuk, mi volt a geofizikus Eötvösnek a célkitűzése, miután sikerült olyan műszert megszerkesztenie, amely a nehézségi erőter igen kicsi változásait érzékelte. Eötvös részletesen elemezte, hogy a nehézségi erőter változásainak mi az okozója. Mindenekelőtt a nehézségi erőternek a földrajzi szélességtől függő ún. normális változását kellett figyelembe vennie, ami könnyen számítható. Eötvös hamarosan felismerte azt, hogy az igen érzékeny torziós inga egyensúlyi helyzetére a felállítás helyének közvetlen környezetében levő tömegegyenetlenségek jelentékeny hatással vannak. Laboratóriumának egyik helyiségében a torziós ingával helyről helyre megmérte a nehézségi erőteret és lényeges eltérést talált a szoba különböző pontjain. Külső terepen a néhány méteren belüli tömegegyenetlenségek hatása érvényesül nagymértékben. Erről úgy győződött meg, hogy pestlőrinci kertjében részletes pontos szintezéssel megállapította az észlelési hely környezetének felszínét és annak hatását kiszámította s egyúttal méréssel ellenőrizte. Ilyen módon szerzett tapasztalatot arra, hogy az egyes világtájaknak megfelelő irányokban mekkora távolságra kell a terep egyenetlenségeit figyelembe venni. A számítás viszonylag egyszerű elvégzése érdekében a potenciálelmélet felhasználásával gyakorlati képleteket vezetett le s az ilyen módon kiszámítható hatást *térszínhatásnak* nevezte. Eötvösnek térszínhatás képletei a terepi egyenetlenségeket 100 méterig veszik figyelembe. Később a gyakorlati kutatásokban viszonylag sík terepen ez a távolság túlnagynak bizonyult és a szintezést 50 m-ig, sőt jó terepen 30 m-ig elegendő volt elvégezni.

Mivel Eötvös tudta, hogy a torziós inga a terepi egyenetlenségekre mennyire érzékeny, módszerének kipróbálására olyan körülményeket keresett, amelyeknél maga a természet küszöböli ki a terepi egyenetlenségek zavaró hatását. Ezért szervezett expedíciót a Balaton jegére az 1901. és 1903. évek

telén. Ez a két tél elég hideg volt ahhoz, hogy a Balaton jegén biztonsággal lehetett méréseket végezni. A Balaton jegén észlelt értékek, mivel a térszínhatás zérus volt — Eötvös elnevezésével — közvetlenül a topografikus értékeket szolgáltatták és a szélességi hatással javítva a topografikus rendellenességeket adták meg. A Balaton jegén végzett mérésekben Eötvösön kívül 1901-ben *Cholnoky Jenő*, *Harkányi Béla*, *Kövesligethy Radó*, *Lóczy Lajos*, 1903-ban pedig *Eötvös*, *Pekár Dezső* és *Steiner Lajos* vettek részt. Más terepi mérésnél térszínhatással és a szélességi hatással redukált értékek jelentik a topografikus anomáliákat. Eötvös a mérési ponttól távolabb levő tömegek, hegyek, völgyek hatásának figyelembevételére is gondolt. A potenciálelmélet alapján a térszínhatáshoz hasonló olyan képleteket vezetett le, amelyeknek segítségével topografikus térképek szintvonalainak kimérése útján az ún. térképi hatást lehet kiszámítani. Eötvös a térképi hatással is redukált anomáliákat földalatti, szubterrán anomáliáknak nevezte és a terepi munkálatok eredményeinek feldolgozásában mindekor a szubterrán anomáliák meghatározását tűzte ki célul.

A századfordulón rendszeresen megindultak a terepi mérések. Eötvös a külső mérések területének megválasztásában azt tartotta szem előtt, hogy a mérések eredményeinek feldolgozásából valami érdekesség adódjék a felszín alatt eltakart tömegeloszlásra, a földtani alakulatokra nézve. Ezért választotta már 1902-ben a mérések színhelyéül a szerémségi Fruska Gora hegység környékét. Ezt a magában álló hegységet ugyanis igen érdekesnek ítélte gravitációs és egyúttal földmágneses mérések számára. Az 1902-ben a Fruska Gora hegységtől északra végzett mérések 1903-ban folytatódtak és kiterjedtek Bácska területének egy részére, Szabadka környékére is. 1904-ben a Fruska Gora egész környékét behálózták torziós inga állomásokkal. 1905-ben Arad, Versec, Oravica vidékén folytak mérések. Arad környékét, különösen Aradtól keletre a hegyek lábáig terjedő területet Eötvös különösen érdemesnek tartotta megvizsgálásra, mert feleletet keresett arra, hogyan folytatódnak a hegyek tömött köztetei a síkság üledékes rétegei alatt. Ezért Eötvös 1906-ban részletes méréseket végzett Arad környékén és azokat 1907-ben is tovább folytatta.

A rendszeres terepi munkálatok céljára valóságos expedíciókat kellett szervezni annál is inkább, mert az akkoriban használt torziós ingák hőmérsékleti hatásokra meglehetősen érzékenyek voltak és a nappali észlelések, különösen napfényes időben, nem voltak eléggé megbízhatók; ennek következtében a rendszeres terepi észleléseket éjjel végezték. Így alakult ki az a módszer, hogy az észlelők a segédszemélyzettel együtt állandóan a szabadban tartózkodtak és táborozási helyüket az észlelési pontoknak megfelelően napról napra változtatták. Általában naponta egy-egy pont észlelését végezték el; a torziós inga észlelése egész éjjel tartott, nappal pedig felkeresték a következő észlelési pontot, azt helyszíneltek és színtezték a térszínhatás számítása érdekében. Nappal folyt az észlelési eredmények feldolgozása. Az előre kijelölt következő pontra másnap korán reggel költöztek át.

A torziós inga észlelések ebben az időben igen lassan haladtak. Az ingarúd lecsillapodásához egy-egy azimutállásban kezdetben majdnem két órai idő kellett. A kettős variométer megszerkesztésekor az ingarudat tartalmazó műszerház méreteinek szűkítésével légcillapítás útján sikerült a csillapodási időt egy órára csökkenteni. Kettős műszerrel egy pont megfigyeléséhez ismétlés nélkül három órára volt szükség, azonban az észlelések megbízhatóságának fokozása érdekében éjjel többnyire 9 órán át folyt a megfigyelés és így minden azimutban három leolvasás állott rendelkezésre.

Az expedíciók állandó munkatársai voltak 1902-től kezdve *Pekár Dezső* és *Steiner Lajos*, 1905-től kezdve *Pekár Dezső* és *Fekete Jenő*. Eötvös maga is gyakran meglátogatta a méréseket és ilyenkor a fárasztó éjszakai észlelésekben is résztvett. A mérések anyagi szükségleteit nem lehetett az egyetemi fizikai intézet költségvetéséből fedezni. Segítséget nyújtott ehhez a *Magyar Tudományos Akadémia*, de különösen *Semsey Andor*, a kiváló mecénás, aki maga is művelője volt a földtudományoknak. Semsey áldozatkészsége tette lehetővé a különböző típusú torziós ingák megépítését, és kb. egy évtizedig a terepi mérések költségeit is fedezte. Ezenkívül más módon is támogatta a tudományok fejlesztését. Egyebek között nagy összegű ösztöndíjakat adományozott hosszú éveken át tehetséges fiatal kutatóknak azzal a céllal, hogy tudásukat, munkaerejüket minden gondtól mentesen a tudományos kutatásoknak szentelhessék. Ez az intézmény az angol college-ok fellow-ságának felelt meg. Eötvös munkatársai közül *Pekár Dezső* és *Fekete Jenő* élvezték éveken át a Semsey-féle ösztöndíjat.

Az 1906-dik év nevezetes fordulópont volt Eötvös geofizikai kutatásaiban. Ez év szeptember havában az Internationale Erdmessung XV. általános kongresszusát Budapesten tartotta. Eötvös ezen a kongresszuson előadást tartott új módszeréről és bemutatta műszerét. A kongresszus egyes tagjai az Arad környékén folyó terepi munkálatokat is megtekintették. A kongresszus a legnagyobb elismeréssel fogadta Eötvös beszámolóját és azzal a kéréssel fordult a magyar kormányhoz: tegye lehetővé Eötvös kutatásainak szélesebb mederben való végzését. A kormány megértéssel fogadta a javaslatot és 1907-től kezdve évente 60 000 korona államsegélyt folyósított Eötvös geofizikai kutatásainak céljára.

A jelentékeny állami támogatás nagy lendületet adott Eötvös geofizikai kutatásainak. Elsősorban újabb tökéletesebb műszertípusok készültek és a terepi mérések is nagyobb terjedelemben folytatódtak. 1908-ban Arad és Szabadka között, 1909-ben Szeged, Szabadka, Baja és Zombor környékén, 1910-ben a titeli platón történtek geofizikai kutatások. 1910-ben még egy érdekes mérés folyt Tiróban a Monte Cristallo és a Croda Rossa közti völgyben. Ennek a mérésnek az volt a célja, hogy a szűk völgyben a nívófelület anomáliáját megvizsgálja. Itt az egyszerű Coulomb-mérlegnek megfelelő ún. *görbületi variométert* használták és megállapították, hogy a nívófelület görbületi sugara a normálisnak kb. 30-szorosa.

A Kecskeméten 1911. július 8-án kipattant földrengés Eötvös figyelmét erre a területre terelte és ebben az évben Kecskemét környékét fel is mérték.

1912-ben Eötvös két expedíciót szervezett és mindkettő Erdélyben, a Maros völgyében tevékenykedett. 1913-ban ugyancsak két expedíció működött Erdélyben, de az egyik kizárólag földmágneses méréseket hajtott végre. 1914-ben is két expedíció indult el az Alföld peremvidékére, közülük az egyik mágneses jellegű volt, de a közben kitört első világháború hamarosan véget vetett a terepi munkálatoknak. 1915-ben a háború miatt nem volt terepi mérés.

1916-ban a Morvamezőn, Egbell környékén, 1917-ben a Hortobágyon 1918-ban Újvidék és Tittel környékén voltak mérések.

Eötvös a torziós ingamérések eredményeit a *vízszintes gradienssekkel*, az azokból számított nehézségi anomáliák izogal vonalaival és a görbületi adatokból számított *vízszintes irányítóképességekkel* ábrázolta.

Eötvös Loránd 1919. április 8-án elhunyt, s halála a magyar és a nemzetközi tudomány nagy vesztesége volt.

Ezután röviden vázoljuk az Eötvös életében végzett gravitációs mérések főbb eredményeit.

A Fruska Gora hegységtől északra Újvidék tájékán igen nagy gravitációs minimum és mellette nagy maximum alakult ki. Aradtól keletre a hegyekig terjedő területen a gradiensek *szubterrán anomáliái*, valamint az *izogal vonalak* a hegységnek a fiatal üledékek alá való süllyedését jelzik. Kecskemét térségében a várostól nyugatra zárt gravitációs minimumot, ezt övezően pedig északnyugatra, keletre és délnyugatra gravitációs maximumokat eredményeztek a mérések. Erdélyben a Maros völgye mentén a nehézségi anomália Nagenyed-től a Mezőség közepe felé haladva növekedik, azontúl északkelet felé ismét csökken. Ezt a regionálisnak mondható változást kisebb minimumok szakítják meg, amelyek részben már ismert sőtömszök hatásának tulajdoníthatók. Különösen érdekes eredmény adódott az Egbell környékén végzett mérésekből. Ezen a területen, amelyen a földtani kutatások felboltozódást jeleztek, jól felismerhető nehézségi maximum alakult ki s az ott lemélyített kutató fúrások olajat tártak fel.

Eötvös kutatásainak célja a felszín alatt eltakart tömegeloszlás megismerése volt. *Böckh Hugó* a kiváló gyakorlati geológus hívta fel Eötvös figyelmét arra, hogy az eltakart földtani rétegek, hegységszerkezetek geofizikai kutatása gyakorlati szempontból is igen fontos, mert sok esetben hasznosítható ásványi nyersanyagok feltárására vezethetnek. Különösen az Egbell környéki geofizikai mérések javasolta nyomatékosan Böckh Hugó és e mérések eredményei feltevéseit igazolták: első ízben sikerült torziós ingamérésekkel olyan földtani boltozatot kimutatni, amely termelő olajmező feltárásához vezetett. Ezt az eredményt külföldi szakkönyvek mint a *gyakorlatilag is eredményes* geofizikai kutatás klasszikus példáját említik.

Eötvös tudatában volt annak, hogy a torziós ingával mért vízszintes gradiensekből nagyobb távolságon át levezetett nehézségi anomáliák bizonytalanságot rejtenek magukban. Ezért szükségesnek tartotta a nehézségi gyorsulás változásának meghatározását nagyobb távolságban levő pontok között relatív ingamérések útján. Erre a célra Sterneck-féle invariabilis ingákat szerzett be és felkérte *Oltay Károly* műegyetemi tanárt relatív ingamérések végrehajtására. Oltay a budapesti műegyetem geodéziai tanszékén ingatermet rendezett be betonpillérekkel és azt mint magyarországi főalappontot relatív ingamérések útján összekötötte a potsdami geodéziai intézet alappontjával. Összekötő méréseket végzett továbbá Budapest és Bécs, Budapest és Padova között. Oltay ezeket a méréseket 1908-ban kezdte meg és a nemzetközi összekötő méréseken kívül Magyarország különböző pontján is végzett relatív ingaméréseket. Eötvös felkérésére elsősorban a torziós ingamérések területein voltak relatív inga állomások, így a Nagyalföldön, Erdélyben és Morvamezőn. Eötvös halála után Oltay tovább folytatta a magyarországi relatív inga hálózat kifejlesztését és különösen a Dunántúl létesített sok relatív inga állomást. A magyarországi relatív inga állomások száma meghaladja a százat. Oltay szerint az elvégzett relatív ingamérések pontossága kb. $\pm 1,1$ mgal.

Eötvös a torziós ingamérések adatait geodéziai célra is felhasználta. Érdekes módszert dolgozott ki arra, hogy a torziós ingamérések görbületi adataiból a függővonalelhajlást kiszámítsa és az egyenlő potenciálú vonalakat megszerkessze. Ehhez azonban szükséges a kérdéses területnek legalább két pontjában a függővonalelhajlás összetevőinek csillagászati-geodéziai megmérése. Eötvös a függővonalelhajlásra vonatkozó vizsgálatokat az Arad környéki

területen végezte el és ennek, érdekében e terület néhány pontján Eötvös felkérésére Oltay Károly határozta meg csillagászati-geodéziai úton a függővonal-elhajlás északi összetevőjét. Ezeknek az adatoknak a felhasználásával Eötvös az aradi területre kiszámította a függővonal-elhajlásokkal arányos vízszintes erőösszetevőket és azokból az egyenlő potenciálú vonalakat. Számításaiiban a topografikus anomáliákat vette alapul, tehát a függőleges tagoltság hatása benne maradt a függővonal-elhajlásokban. A feldolgozás igen érdekes eredményt szolgáltatott: a vízszintes erőösszetevők egészen rendszeresen a hegyek felé irányulnak, a reájuk ortogonálisan haladó ekvipotenciális vonalak pedig nagyjában a hegység határvonalával futnak párhuzamosan. Ebben természetesen a hegység üledékek alatti folytatásának hatása is érvényesül. Eötvös módszerével tehát a geoidfelület részletes megvizsgálására is lehetőség van. Eötvös nemcsak mint fizikus és geofizikus, hanem mint geodéta is kiválótt alkotott.

Visszatérve Eötvös geofizikai kutatásaira ki kell emelni azt a tényt, hogy Eötvös nagyon korán felismerte a komplex geofizikai kutatások fontosságát. A gravitációs módszeren kívül nagy gondot fordított a földmágneses kutató módszerre is, mert meggyőződése szerint a két módszer együttes alkalmazása teszi lehetővé a felszín alatt rejtőző földtani szerkezetek eredményes geofizikai kutatását.

Eötvös a földmágnességre vonatkozó kutatásait úgyszólván a nehézségi erőter vizsgálataival egyidőben, a múlt század utolsó évtizedeiben indította meg. Tudományos vizsgálataiban az a gondolat vezette, hogy a Földünket jellemző két erőter között szoros kapcsolat van.

Eötvösnek földmágneses vizsgálatai méltán állíthatók a nehézségi erőterre vonatkozó világhírű kutatásai mellé.

Eötvös a torziós inga megalkotásával majdnem egyidőben a földmágneses tér változásának részletes megvizsgálására a torziós ingához hasonló igen érzékeny műszert szerkesztett és azt *mágneses transzlatométernek* nevezte el, mert alkalmas a földmágneses tér inhomogenitásából származó transzlatorius erő mérésére. A mágneses transzlatométer a gravitációs horizontális variométertől abban tér el, hogy a mélyebben felfüggesztett tömeg helyén kis mágnesrúd van és a műszer a mágneset hordozó szál körül forgatható. A mágneses transzlatométer mágneses momentumok összehasonlítására is alkalmas és igen érzékeny különböző anyagok, kőzetek mágneses szuszceptibilitásának mérésére. Eötvös a transzlatométer elméletét és szerkezetét már 1896-ban „Vizsgálatok a gravitáció és a mágnesség köréből” című alapvető értekezésében ismertette. Eötvös eredeti transzlatométerének egyik példánya üzemképes állapotban mint nyilvántartott műszaki emlék a tihanyi obszervatóriumunkban van elhelyezve.

Amikor Eötvös tervei szerint és az ő vezetésével a rendszeres terepi torziós ingamérések megindultak, Eötvös ezeket a méréseket úgy szervezte meg, hogy minden gravitációs megfigyelő állomáson abszolút földmágneses mérések is történjenek. Az abszolút mágneses méréseket eleinte *Steiner Lajos*, majd 1905-től kezdve *Fekete Jenő* végezte. Később *Pogány Béla*, *Fröhlich Pál* vettek részt ezekben a mérésekben. A mérések a szokásos műszerekkel és eljárásokkal folytak. Az elhajlást és a vízszintes térerősséget mágneses teodolittal mérték, a csillagászati meridiánt napészleléssel, a lehajlás szögét földinduktorral határozták meg. Eötvös a terepi mágneses mérésekkel a földmágneses tér helyi anomáliáit igyekezett megállapítani s ezért volt szük-

sége néhány km távolságban levő állomások hálózatára, ami síkvidéken elég sűrűnek mondható. Eötvös a nehézségi erőterhez hasonlóan a mágneses térnek részletes kutatását tűzte ki céljául.

A mérések gyorsítása és az anomáliák még részletesebb megvizsgálása érdekében Eötvös relatív mágneses méréseket is bevezetett. Egészen eredeti elgondolással módszert dolgozott ki az elhajlás változásának relatív mérésére két-két pont között. Erre a célra két teljesen azonos mágneses teodolitot szerkesztett. A módszer lényege a következő: Két észlelő az összehasonlítható pontokon egyidejűleg méri a mágneses meridián irányát és a másik pont irányát. Az elhajlás helyi változását megadja a mágneses meridiánok és a két pontot összekötő vonal által bezárt szögek összegének eltérése 180° -tól, tekintetbe véve a csillagászati meridiánok összehajlását. A mágneses meridiánok irányának egyidejű észlelése kiküszöböli az időbeli változást. Eötvösnek ez a módszere igen figyelemre méltó gyors eljárás és elvileg is jelentős az időbeli változás kiküszöbölésének egyszerű módja.

A vízszintes térerősség relatív mérésére Eötvös a Kohlrausch-féle vario-métert használta, de nem eredeti alakjában, hanem megfelelő átalakításokkal a terepmérésekre alkalmassá tette.

Még Eötvös életében hatalmas mágneses észlelési anyag gyűlt össze részben abszolút, részben relatív mérésekből. A relatív mérések többnyire vonalak mentén történtek. Részletes felmérésre került a Fruska Gora vidéke és az Erdélyi-medence. A Fruska Gora hegységben és környékén olyan részletes mágneses mérések voltak, hogy azok mai elnevezéssel valóságos mikroméréseknek tekinthetők. A hegységben Eötvös egészen kis kiterjedésű helyi anomáliákat mutatott ki, amelyek szerpentintől származnak. Az Erdélyben végzett mágneses mérések eredményeinek feldolgozása igen érdekes eredményekhez vezetett. Eötvös úgy járt el, hogy az észlelési adatokból kiszámította a mágneses térerősség derékszögű összetevőit s azokból megállapította a mágneses anomáliák potenciálját. Az erdélyi mérések ilyen értelmű feldolgozása azt eredményezte, hogy az ekvipotenciális vonalak mint koncentrikusan záródó görbék az Erdélyi-medence közepét veszik körül, míg a peremvidékeken emelkedő hatalmas vulkanikus eredetű hegyek az ekvipotenciális vonalak menetét megzavarják. Az erdélyi jellegzetes anomáliákra már Liznar is figyelmessé lett, de az érdekes anomáliakép csak Eötvös részletes vizsgálatai nyomán alakult ki. Eötvös a Fruska Gora hegységben és környékén végzett mágneses mérések eredményeiből is szerkesztett ekvipotenciális vonalakat s ezek a Fruska Gorával párhuzamos kelet-nyugati irányú alakulatot jeleznek, de annak tengelye a látható hegység tengelyéhez képest több km-rel el van tolódva. Eötvös általában eltért a mágneses adatok szokásos feldolgozási és ábrázolási módjától és kiértékelését a megoldandó feladat természetéhez szabta. Az ekvipotenciális vonalakkal történő ábrázolások kívül különösen kis mágneses anomáliák esetében a nehézségi erőter görbületi irányítóképességeihez hasonló módon számított mágneses irányítóképességeket alkalmazta.

Eötvös nagy figyelemmel tanulmányozta a nehézségi és a földmágneses tér összefüggését. Különösen azt emelte ki, hogy a mágneses térerősség összetevői nem a nehézségi térerősséggel, hanem annak első deriváltjaival, vagyis a nehézségi potenciál második deriváltjaival vannak kapcsolatban. Eötvös a két erőter anomáliáira vonatkozólag a következő három esetet különbözteti meg:

1. a vízszintes mágneses erőösszetevők anomáliái a nehézségi gradiens rendellenességeivel párhuzamosak és egyenlő irányúak;

2. párhuzamosak és ellentett irányúak;
3. párhuzamosak, de irányuk részben megegyező, részben ellentett.

Eötvös a felmért területeken mindhárom esetre talált példát és megfelelő földtani szelvényekkel adott magyarázatot a nehézségi és a mágneses hatások említett kapcsolataira.

A földmágneses terepmérések adatainak feldolgozásában Eötvös az ógyallai obszervatóriumra támaszkodott. Az időbeli változások redukcióját részben az ógyallai-, részben a polai obszervatórium regisztrálásai alapján végezte el. A mágneses mérésekhez használt műszerek hitelesítését és ellenőrzését a terepmérések előtt és utána az ógyallai obszervatóriumban hajtották végre Eötvös munkatársai.

Figyelemre méltók Eötvösnek a régi téglák és edények mágnesezettségére vonatkozó vizsgálatai. A régi téglák és agyagedények égetésük alatt az akkor fennállott földmágneses tér irányát, mint remanens mágnességi irányt tartották meg. Mivel a téglák oldala és az edények alapja, amelyen azok a kiégetés alkalmával a kemencében állottak, felismerhető volt, elég biztossággal lehetett a téglákat és az edényeket a függőlegeshez viszonyítva az eredetinek megfelelő helyzetben felállítani. A mágneses momentumot s annak irányát Eötvös a mágneses transzlatométerrel határozta meg s e kísérletei alapján főként az égetés időpontjában érvényes lehajlási szögre tudott következtetni.

Eötvös az egész Föld mágneses terének vizsgálatával is foglalkozott. Az egész földfelületen rendelkezésére álló földmágneses adatokat felhasználta arra, hogy azokból horizontális irányítóképessegeket számítson. Később ez irányú kutatásait abbahagyta és addigi eredményeit sem publikálta.

Erősen foglalkoztatta földmágnesség eredetének a kérdése is. Erre vonatkozó elgondolásait és kísérleteit sem hozta nyilvánosságra, de fennmaradt egy kísérleti berendezése, amellyel azt vizsgálta, hogy a Föld forgásának milyen szerepe lehet a földmágnesség keletkezésében. Vörösréz-ből gömböt készített, abból a szárazföldeknek megfelelő felületrészeket kivágatta, s azt gipszszel pótolta. A jövezető vörösrézfelületek az óceánokat modellezték. Az így elkészített *földmodellt* az érzékeny transzlatométer közelében forgásba hozta. Ez a kísérleti berendezés mint műszaki emlék fennmaradt.

Eötvös a mérési eredmények földtani értelmezésének érdekében több esetben elvégezte feltételezett alakulatok hatásának elméleti számítását is. Többek között kiszámította a csapásirányban végtelen hosszú vetődésnek, továbbá végtelen hosszú derékszögű hasábalakú tömegnek gravitációs hatását. Bár nem publikálta, de régi volt munkatársainak tudomása van arról, hogy a Fruska Gora hegység *izosztatikushoz hasonló* modelljét alapul véve szintén végezett hatásshámításokat.

Eötvös gravitációs vizsgálatainak középpontjában ugyan a torziós inga állott, de egy egészen más típusú gravitációs műszer szerkesztésével is megpróbálkozott. Nagy tudománytörténeti jelentősége van annak, hogy a századfordulón, 1901-ben egy egyszerű *bifiláris gravimétert* szerkesztett, s ezzel a világ valamennyi graviméter szerkesztőjét megelőzte. Eötvös bifiláris graviméterén két vékony kvarcszálon 12 g hengeres tömeg függ. A felfüggesztő szálakat megcsavarva a tömeg kissé megemelődik és elfordul. A nehézség változásakor a henger súlya és elfordulási szöge kissé megváltozik. Ezt a kis változást a hengerre és az eszközházra erősített tükrök és leolvasó távcső segítségével meg lehet állapítani. Eötvös és munkatársai a bifiláris graviméterrel meghatároz-

ták az egyetemi fizikai intézet és a Svábhegy között a nehézségi különbséget. Sajnos a műszert Eötvös nem fejlesztette tovább, publikálás híján a tudományos világ nem is szerzett tudomást erről a nevezetes kezdeményezésről. A műszer eredeti állapotában mint műszaki emlék ma is megvan az Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézetben. 1958-ban ki volt állítva a brüsszeli világkiállításon.

Eötvös geofizikai jellegű tudományos alkotásai közé kell sorolnunk a tudományos irodalomban Eötvös-effektus néven ismert jelenség felismerését és törvényszerűségének megállapítását. Mivel a nehézségi erő a Föld vonzásának és a centrifugális erőnek eredője, a centrifugális erő változásával az eredő nehézségi erőnek is meg kell változnia. A Földhöz viszonyítva nyugatról kelet felé mozgó testre nagyobb centrifugális erő hat, mint a Földhöz viszonyítva nyugvó testre, ezért ilyenkor a test súlya kisebb, viszont a keletről nyugat felé mozgó test súlya a nyugvóhoz viszonyítva nagyobb. Eötvös erre a jelenségre azoknak az óceánokon végzett nehézségi méréseknek a tanulmányozásakor lett figyelmessé, amelyeket a potsdami geodéziai intézet *O. Hecker* vezetésével a század elején végeztetett. Eötvösnek feltűnt, hogy a hajó mozgása következtében fellépő hatást nem vették számításba. Erre a körülményre Eötvös levélben hívta fel Hecker figyelmét és ennek nyomán Hecker a kérdés megvizsgálása céljából 1908-ban a Fekete-tengeren mozgó hajókon végzett méréseket. Két hajó közül az egyik nyugatról keletre, a másik egyidejűleg ellenkező irányban haladt. A mozgó hajókon történt észlelések Eötvös elgondolását igazolták. Később Eötvös olyan kísérleti berendezést gondolt ki, amellyel ezt a hatást közvetlenül laboratóriumban is sikerült kimutatnia. Berendezése egy forgó mérleg, amelynek forgása közben a nyugat felé mozgó kar nehezebb, mint a kelet felé mozgó kar és ennek következtében az érzékeny mérleg kibillen. Eötvös ezt a hatást a rezonancia segítségével megnövelte.

Az Eötvös-effektus függ a földrajzi szélességtől és a Földhöz képest mozgó test viszonylagos sebességétől. Az effektus kimutatása egyúttal a Föld tengelyforgásának újabb bizonyítéka. Az Eötvös-effektust az újabb időben a tengereken, mozgó hajókon végzett nehézségi méréseknél mindenkor számításba veszik.

Eötvösnek a geofizika fejlődése szempontjából az a legnagyobb érdeme, hogy módszert és műszert dolgozott ki annak a megvizsgálására, hogyan lehet a felszín alatt eltakart tömegeloszlásra és a ható tömegek mineműségére a felszínen végzett fizikai mérésekkel következtetni. Ezzel Eötvös a gyakorlati geofizika alapját vetette meg. Az általa oly tökéletesre fejlesztett torziós inga Eötvös életében és még soká azután is a gyakorlati geofizikának igen értékes és hasznos műszere volt. Ma már sok tekintetben a korszerű, nagy pontosságú graviméterek háttérbe szorították, de különleges geofizikai feladatok megoldására, pl. vetődések kimutatására ma is igen jól használható műszer. Eötvös gyakorlati geofizikai kutatásaiban a torziós ingát és azonkívül a mágneses műszereket használta. Ezen a téren úttörő munkát végzett és jelentős eredményeket ért el. Az első graviméter megszerkesztésével pedig a távolabbi fejlődés irányát is kijelölte. Egyéb, a fizika körébe tartozó kutatásai alap kutatásai jellegűek. A geofizika területén elért nagy eredményei jó részben annak is köszönhetők, hogy a gyakorlati problémák megoldásával párhuzamosan az alap kutatásokra is nagy figyelmet fordított; többek között érzékeny torziós ingáját a tömegvonzás és tehetetlenség arányosságának megvizsgálására, továbbá a tömegvonzási együttható pontos megmérésére is felhasználta.

A nemzetközi tudományos világ Eötvös nagy tudományos érdemeit azzal is elismerte, hogy a nehézségi gyorsulás helyi változásának mértékegységét, 10^{-9} sec^{-2} -t, *Eötvös-egységnek* nevezte el.

3. Egyéb geofizikai kutatások Eötvös idejében

Eötvös életében elsősorban közvetlen munkatársai folytattak geofizikai tevékenységet. Közülük két legrégebbi munkatársa emelkedik ki: *Pekár Dezső* és *Fekete Jenő*, akikről már az előző fejezetben említés történt.

Pekár Dezső Eötvös tanársegéde, később Semsey-ösztöndíjas, kezdetben Eötvös kutatásaihoz kapcsolódva a folyadékok felületi feszültségével foglalkozott és az Eötvös-törvény érvényességét vegyületekre, oldatokra vizsgálta. A múlt század utolsó éveiben már Eötvös gravitációs és földmágnességi kutatásaiban működött közre. Nagyon ügyes kísérletező volt és a laboratóriumban Eötvös számos elgondolását valósította meg. Az új műszerek szerkesztésében is nagy segítségére volt Eötvösnek. Különösen amikor a műszereket terepi viszonyok közötti használatra kellett alkalmassá tenni, érvényesült kiváló gyakorlati érzéke és Eötvös gyakran igénybe vette gyakorlati jellegű tanácsait. *Pekár Dezső*nek fontos szerepe volt a terepi expedíciók megszervezésében. Ezt a feladatot Eötvös teljesen *Pekár*ra bízta és ezt a nem egészen könnyű feladatot *Pekár* az éjszakai észlelésekre való figyelemmel jól oldotta meg. A terepen különösen kezdetben többször fordult elő a műszerek működésében üzemzavar. *Pekár* mindenkor gyorsan felismerte a zavarok okát és kiváló gyakorlati tudásával azt hamarosan meg is szüntette. Mind a laboratóriumi, mind a terepi méréseket mindig a legnagyobb gonddal és pontossággal végezte és mint az expedíció vezetője fiatal munkatársaitól is a mérések legpontosabb elvégzését kívánta meg. Jó gyakorlati érzékkel választotta ki a torziós ingamérések legalkalmasabb helyét, ahol a felszíni tömeg egyenetlenségek a lehető legkisebb mértékben befolyásolták a mérendő nehézségi erőteret. A terepmunkálatokkal kapcsolatban Eötvösnek is állandó gondot okozott a térszíni egyenetlenségek kérdése és azok hatásának lehetőleg reális figyelembe vétele. Ezért is határozta el Eötvös, amikor már több terepi műszerrel rendelkezett, hogy minden megfigyelési állomáson két egymástól 10–12 méter távolságban levő ponton két műszerrel egymástól függetlenül történjenek a mérések egyidejűleg. A két műszerállás mindegyikén külön-külön kellett szintezni és annak megfelelően a térszínhatást kiszámítani. Elvileg a két közeli ponton az észlelésből és a számításból ugyanazokat a topografikus értékeket kellett kapni. Az eltérés nagysága a meghatározás megbízhatóságának mértékéül szolgált. *Pekár Dezső* erre a körülményre is mindig nagy gondot fordított és ahol a két műszerrel történt meghatározás adatai között a megengedettnél nagyobb eltérés mutatkozott, ott fáradhatatlanul nyomozta az eltérés valószínű okát; szükség esetén a mérést egy további közeli ponton megismételte. A nagyobb eltérés oka néhányszor a felszín alatt a közelfekvő talajrétegekben rejtőző zavaró sűrűségeloszlás volt; ez különösen folyók közelében ártéri területeken fordult elő. Ilyen helyeken végzett torziós inga mérés természetesen nem szolgáltatott reális értéket a mélyebben levő földalatti tömegeloszlásról.

Pekár Dezső állandóan figyelemmel kísérte a torziós ingának a gyors hőmérsékletváltozás okozta zavarait. A terepi mérésekben olyan körülményeket igyekezett biztosítani, hogy a hőmérsékleti behatások minél kisebbek legyenek.

Ezzel a kérdéssel a világháború első évében, amikor a terepi mérések szüneteltek, rendszeres laboratóriumi kísérletekben behatóan foglalkozott és megállapította, hogy a hőmérsékletváltozás zavaró hatását főként a torziós inga legbelső házában keletkező légáramok okozzák, és pedig a zavaró hatás leginkább ott lép fel, ahol a lelógó cső az ingarúd házába torkollik. Egyúttal azt is tanulmányozta, hogyan lehet kis terelő felületekkel a csőtorkolatban a zavaró légáramokat az ingarúdról elterelni. Tanulmányainak eredményeit külön értekezésben foglalta össze.

Fekete Jenő eleinte szintén Eötvös tanársegéde, majd Semsey-öszöndíjas, 1905-től kezdve vett részt geofizikai kutatásokban. Különösen földmágnességi mérésekkel és kutatásokkal foglalkozott behatóan. Fekete Jenő végezte Eötvös életében és még jó ideig, Eötvös halála után is a mágneses terepmérések legnagyobb részét nagy szakértelemmel, lelkiismeretesen és a használt műszerekkel elérhető legnagyobb pontossággal. Fekete mindegyik torziós ingaállomáson abszolút mágneses méréseket végzett, amellel részt vett a torziós ingák éjszakai megfigyeléseiben és a relatív mágneses mérésekben. A mérési időszak előtt és azok után Ógyallán hasonlította össze műszereit az obszervatórium műszereivel. Eötvös maga is ismételt a legnagyobb elismeréssel nyilatkozott Fekete Jenő mágneses méréseinek teljes megbízhatóságáról és nagy pontosságáról. Fekete igen sokat dolgozott közvetlenül Eötvössel együtt és a földmágnesség terén ő ismerte legjobban Eötvös sajátos elgondolásait és célkitűzéseit. Fekete Jenőnek az Eötvös Emlékkönyvben Eötvös földmágneses vizsgálatairól írt tanulmánya híven foglalja össze Eötvösnek ez irányú munkásságát és több olyan, Eötvöstől származó adatot közöl, amely Eötvös eredeti értekezéseiben nem jelent meg. Sokat foglalkozott a mágneses mérések eredményeinek értelmezésével.

Az Eötvös életében végzett terepi mérések különösen az első években nem voltak rutinmérések, hiszen a műszerek terepi viselkedését kellett kivizsgálni és annak megfelelően kellett a mérési eljárást kialakítani.

Az Eötvös életében végzett terepi mérésekben és a mérési eredmények feldolgozásában az eddig említett régebbi munkatársakon kívül több fiatal munkaerő is részt vett. 1908-tól kezdve *Rybár István* volt a terepi mérések és belső munkálatok állandó munkatársa, majd 1913-tól mint Eötvös tanársegéde az oktatásban és a belső munkálatokban működött közre. Eötvös élete végén, súlyos betegsége idején mint megbízott előadó megtartotta az egyetemi előadásokat.

Rövidebb ideig végeztek terepi méréseket, feldolgozási és laboratóriumi munkálatokat a következő munkatársak: *Garcsár Sándor* egy évig, *Pogány Béla* és *Fröhlich Pál* két-két évig, *Renner János* három évig, *Kovács György*, *Cser Imre* és *Nes Tivadar* egy évnél rövidebb ideig. 1916-ban Egbell vidékén az állandó munkatársakon kívül *Steiner Lajos*, *Walek Károly*, *Renner János* és *Wagner Lajos* működtek közre. 1917-ben a hortobágyi mérésekben az állandó munkatársakon kívül *Walek Károly* vett részt. 1918-ban az állandó munkaerőn kívül *Szecsődy Miklós* és *Kerékjártó Béla* voltak az expedíció tagjai.

Már az előző fejezetben megemlítettük, hogy Eötvös felkérésére *Oltay Károly* végzett relatív ingával összehasonlító nehézségi méréseket. Ezeket a méréseket Oltay nagy gondnal készítette elő, a műszereket tüzetes vizsgálatnak vetette alá, a szokásos korrekciókat a körülmények gondos mérlegelésével alkalmazta. Ezáltal sikerült az adott berendezéssel az elérhető legnagyobb pontosságot biztosítani. A műszer vizsgálatáról, adatairól és a mérések végrehaj-

tásáról részletes tanulmányokat tett közzé. Munkatársai közül elsősorban *Szecsődy Miklóst* kell kiemelni, aki sok mérést teljesen önállóan végzett el. Ugyancsak Szecsődy Miklós vett részt azokban a csillagászati mérésekben, amelyekkel Eötvös felkérésére Arad vidékén a függővonalelhajlást Oltay meghatározta. A relatív ingamérésekben rövid ideig Pekár Dezső is közreműködött.

Nem maradhat említés nélkül *Süss Nándor* német származású precíziós műszerész, aki Eötvösnek igen nagy segítségére volt az egyes műszer típusok mechanikus megtervezésében és kivitelezésében. Süss Nándor fiatal éveiben a marburgi egyetem mechanikusa volt, majd a kolozsvári egyetemre került műszerésznek. 1884-ben Eötvös javaslatára Budapesten szerveztek mechanikai tanműhelyt és annak vezetésével Süss Nándort bízták meg. Az állami tanműhely ugyan 1900-ban megszűnt és magánvállalattá alakult át, de Süss Nándor továbbra is kiváló pontossággal készítette el Eötvös műszereit. Eötvös laboratóriumi és terepi műszerei mind Süss Nándor szakavatott kezei alatt készültek nagy gonddal és pontossággal. Süss Nándor mechanikai műhelyéből alakult ki később a jelenleg is működő *Magyar Optikai Művek* hatalmas vállalat. Süss Nándor, aki kiválóan értett ahhoz, hogy Eötvös elgondolásait valóra váltsa, 1920-ban villamos szerencsétlenség áldozata lett. Eötvös mindig elismerően nyilatkozott a Süss-féle műhely kiváló precíz készítményeiről.

Eötvös munkásságának idejére esik a *földrengésvizsgálatok* megindulása Magyarországon. Voltak ugyan már régebben is egyes nagyobb földrengésekről készült feljegyzések, de azok még rendszeres adatgyűjtéseknek sem tekinthetők. A régebbi munkák közül kiemelkedik *Kitaibel és Tomtsányi* latin nyelven írt monográfiája az 1810. január 14-én kipattant móri földrengésről.

A rendszeres földrengésvizsgálat Magyarországon a múlt század utolsó évtizedeiben indult meg. A Magyarhoni Földtani Társulat 1881. november 9-én, a nagy zágrábi földrengés első évfordulóján tartott választmányi ülésén *Földrengési Bizottságot* hozott létre. E Bizottság elnöke *Szabó József* volt, tagjai *Hantken Miksa, Lóczy Lajos, Schafarzik Ferenc, Szontagh Tamás és Válya Miklós*. A Bizottságnak később *Kalecsinszky Sándor* és *Emszt Kálmán* is tagjai voltak. A Bizottság elsősorban földrengési adatgyűjtéssel foglalkozott és ennek érdekében kérdőíveket küldött szét. A Földrengési Bizottság 1890-ben Olaszországból Cacciaitore-féle földrengésjelző készülékeket szerzett be; ezek egyikét a Földtani Intézet mélypincéjében helyezte el, a másikat pedig Ógyallán. Később Ógyallán Bosch-féle horizontális ingákat is felszereltek s azok 1902-ben kezdték meg működésüket.

A Földrengési Bizottságot a Magyar Tudományos Akadémia támogatta, működése azonban a század elején megszűnt. A földrengésvizsgálat folyamatosága nem szakadt meg, mert az Országos Meteorológiai és Földmágnességi Intézet *Konkoly Thege Miklós* igazgatósága idején a földrengési, és pedig elsősorban a makroszeizmikus szolgálatot tartotta fenn. Ezt a feladatot egyéb intézeti munkája mellett *Réthy Antal*, az Intézet későbbi igazgatója látta el. 1903-ban a Földművelésügyi Minisztérium a földrengési szolgálatot hivatalosan is az Intézet hatáskörébe utalta. Időközben az Intézet műhelyében Vicentini-féle földrengésjegyző ingák készültek és ilyen ingák a következő helyeken kerültek felszerelésre: a Földtani Intézet mélypincéjében, Ógyallán, Temesvárott és Fiumében.

A magyarországi földrengéskutatás további története szorosan kapcsolódik Eötvös fiatalabb kortársának, *Kövesligethy Radónak* nevéhez. Kövesligethy Radó (1862–1934) több egymással rokon tudományágban működött

kiváló eredménnyel. Érdeklődése fiatal korában elsősorban a csillagászat felé irányult és a színeképelemzés csillagászati alkalmazásával foglalkozott. Ezen a téren igen jelentős eredményeket ért el: felismerte a színeképvonalak hőmérséklet okozta eltolódását és ezzel 10 évvel megelőzte Wien eltolódási törvényének megállapítását.

Kövesligethy 1888-ban Eötvös tanársegéde lett és már egy év múlva kozmográfiából és geofizikából magántanárrá habilitáltak. 1897-ben lett a budapesti tudományegyetem tanára. Előadásokat tartott a csillagászati földrajzból, a csillagászból, a szeizmológiából, sőt nem matematikus természettudományi hallgatók számára matematikából is. Előadásai mindig igen érdekesek és élvezetesek voltak.

A századforduló táján Kövesligethy egyre inkább földrengésvizsgálattal, szeizmológiával kezdett foglalkozni. 1897-ben megtartott akadémiai székfoglaló értekezése tárgyául szeizmikus jelenségek geometriai elméletét választotta. A földrengésvizsgálat a századfordulón mindinkább a nemzetközi tudományos érdeklődés előterébe került és felmerült az a kívánság, hogy egy nemzetközi szervezet létesüljön az együttműködés biztosítására. Ezért annak előkészítésére Strasbourgban 1901-ben és 1903-ban nemzetközi szeizmológiai konferenciát tartottak s Kövesligethy ezeken a konferenciákon kormány megbízásból vett részt. A tanácskozások eredményeképpen 1905-ben megalakult a Nemzetközi Szeizmológiai Asszociáció. Kövesligethy a nemzetközi szervezet főtítkárává választották. Ezt a kitüntető bizalmat Kövesligethy nemzetközileg elismert tudományos munkássága, széles körű nyelvtudása és kiváló szervezőképessége révén méltán megérdemelte.

Kövesligethy egyetemi tanszéke mellett földrengésvizsgáló intézetet szervezett és a már működő földrengésjelző állomásokon kívül további állomásokat létesített. Ennek eredményeképpen az első világháború előtti Magyarországon a következő földrengésjelző állomások működtek: Budapest, Fiume, Kalocsa, Kolozsvár, Kecskemét, Ógyalla, Temesvár, Ungvár és Zágráb. Az állomáshálózat létesítésében a Magyar Tudományos Akadémia, a kormány és egyes adakozók támogatták. Budapesten volt a központi állomás és az adatfeldolgozó szolgálat. Budapesten a Nemzeti Múzeum pincéjében 1905-ben állították fel az 5 tonnás Wiechert-ingát. Később Mainka-ingákat szereztek be és egy ilyen ingát 1910-ben helyeztek el Ógyallán. A földrengési szolgálat 1911-ben a Meteorológiai Intézettől Kövesligethy intézetéhez került át.

Kövesligethy olyan kiválóan szervezte meg a magyar szeizmológiai szolgálatot, hogy a Nemzetközi Szeizmológiai Asszociáció központi hivatalául Strasbourg után Budapestet szemelték ki, erre azonban a világháború kitörése miatt már nem került sor.

Kövesligethy tudományos szeizmológiai munkássága főként a következő kérdések vizsgálatára terjedt ki: a szeizmikus hullám kilépési szöge, a földrengési hullámok geometriai elmélete, a hat szeizmikus elem, továbbá a fészekmélység megállapítása makroszeizmikus adatokból.

Kövesligethynek a szeizmológiában munkatársai voltak *Réthly Antal*, továbbá *Pécsi Albert* és *Strömpl Gábor*. Réthly Antal 1907-ben Kövesligethyvel együtt a Meteorológiai Intézet megbízásából részt vett a hágai nemzetközi szeizmológiai kongresszuson. Réthly a Földrengési Bizottság és a Meteorológiai Intézet összegyűjtött földrengési anyagát feldolgozta és három kötetben kiadta, részben a Meteorológiai Intézet, részben az egyetemi földrengési intézet kiadványaként. Réthly különösen értékes munkát végzett azzal, hogy *megszerkesztette*

Magyarország korszerű földrengési térképét magyarázatokkal kísérve és ezt a munkát a Magyar Tudományos Akadémia 1912-ben Schafarzik Ferenc ajánlására kiadta. Réthly 1911 után Kövesligethy egyetemi földrengési intézetének külső munkatársa lett és annak munkájában igen tevékenyen részt vett.

Kövesligethy munkatársai közé kell sorolnunk *Jánosi Imrét* és *Jordan Károlyt*. Jánosi fészekmélységszámításokkal foglalkozott. Jordan Károly, a valószínűségszámítás kiváló művelője, 1905-től néhány évig a magyar földrengési számoló intézetnek volt igazgatója és 1907-ben nagyobb összefoglaló tanulmányt írt a földrengési hullámok terjedéséről.

Kövesligethy önálló földrengésvizsgáló intézet létesítését is tervezte és erősen szorgalmazta. Azonban az első világháború kitörése tervének megvalósítását megghiúsította. A világháború egyébként a nemzetközi szervezet működését is megbénította. Évekkel a háború után, 1922-ben volt egy konferencia Strasbourgban s azon számolt be Kövesligethy utoljára főtitkári működéséről.

Kövesligethy éveken át dolgozott Eötvös mellett és ez mély nyomokat hagyott tudományos munkásságán. Bár munkássága a tudomány más területén bontakozott ki, közös cél volt a Föld jelenségeinek kutatása és minél jobb megismerése. Eötvöshöz hasonlóan Kövesligethy is az exakt természettudományos módszert alkalmazta.

Kövesligethy volt munkatársaival együtt a magyarországi korszerű földrengéskutatás megszervezője és művelője. A földrengésjelző állomáshálózat kiépítésével a régi Magyarország területén példát mutatott más országoknak is.*

IRODALOM

Gruber Lajos : A földnehézség meghatározása Budapesten 1885-ben. Értekezések a matematikai tudományok köréből, XIII. kötet, 1. szám, M. Tud. Akadémia 1886.

Oltaý Károly : A nehézséggyorsulás budapesti értékének meghatározása, Budapest, 1917.

R. Sterneck : Relative Schwerebestimmungen ausgeführt im Jahre 1893. Mitteilungen des K. u.

K. Militär-Geogr. Institutes, XIII. kötet, 1893.

Fröhlich Izidor : Bárá Eötvös Loránd Emlékkönyv, Budapest, 1930.

P. Selényi : Roland Eötvös Gesammelte Arbeiten, Budapest, 1953.

* A földrengésvizsgálatokra vonatkozó adatok szíves közléséért Réthly Antal professzort illeti köszönet.

